

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4290646号
(P4290646)

(45) 発行日 平成21年7月8日(2009.7.8)

(24) 登録日 平成21年4月10日(2009.4.10)

(51) Int.Cl. F I
G O I S 5/30 (2006.01) G O I S 5/30

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2004-507856 (P2004-507856)	(73) 特許権者	502251810
(86) (22) 出願日	平成15年5月22日 (2003. 5. 22)		インプット/アウトプット インコーポレ イテッド
(65) 公表番号	特表2005-527824 (P2005-527824A)		アメリカ合衆国 77477 テキサス州 スタッフォード パレ クレスト ドラ イブ 12300
(43) 公表日	平成17年9月15日 (2005. 9. 15)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/016260	(74) 代理人	100062225
(87) 国際公開番号	W02003/100451		弁理士 秋元 輝雄
(87) 国際公開日	平成15年12月4日 (2003. 12. 4)	(72) 発明者	ラムバート, デール, ジェー.
審査請求日	平成18年4月25日 (2006. 4. 25)		アメリカ合衆国 70448 ルイジアナ 州 マンデヴィレ フォーウン ドライブ 804
(31) 優先権主張番号	60/319, 263		
(32) 優先日	平成14年5月23日 (2002. 5. 23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 GPS方式の水中ケーブル位置決めシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

海洋船後方の水中を牽引される複数のケーブルに対する位置決めシステムであって、
海洋船と共に水面を移動する4つの表面ユニットを備え、2つの表面ユニットはケー
ブルのヘッドエンド付近で離れた位置から牽引され、また、残りの2つの表面ユニットはケ
ブルのテールエンド付近で離れた位置から牽引され、

海洋船後方の水中を牽引される複数のケーブルに沿って水中に配設された複数の音波受
信器ユニットとを備え、各表面ユニットは、

無線周波数のGPS信号を受信して、自らの表面ユニットの位置を決定するためのGPS受信
器と、

自らの表面ユニットの位置を表す音波メッセージ信号を水中に送信するための音波送信
器とを有し、

各ケーブルは、海洋船に近接したヘッドエンドから反対側のテールエンドまで延び、各
音波受信器ユニットは、

複数の表面ユニットによって送信された音波メッセージ信号を受信して、その音波メッ
セージ信号から自らの音波受信器ユニットの位置を決定するための音波受信器を有し、

ケーブルの1つに取り付けられた音波トランシーバユニットを更に備え、この音波ト
ランシーバユニットは、

複数の表面ユニットから送信された音波メッセージ信号を受信して、その音波メッセ
ージ信号から自らの位置を決定するための音波受信器と、

10

20

自らの位置を表す音波メッセージ信号を水中に送信するための音波送信器とを有し、少なくともいくつかの音波受信器ユニット内の音波受信器は、音波トランシーバユニットからの音波メッセージ信号を受信して位置決定に使用することを特徴とする位置決めシステム。

【請求項 2】

表面ユニットは、ケーブルのヘッドエンドおよびテールエンド付近から牽引され、また最も外側で牽引されたケーブルのヘッドエンドと中間部との間およびテールエンドと中間部との間に配設された複数の音波トランシーバユニットを備える請求項 1 の位置決めシステム。

【請求項 3】

海洋船と音波受信器ユニットとの間に通信リンクを更に備え、それを通して音波受信器ユニットからの位置データが海洋船へ送信される請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 4】

海洋船と表面ユニットと音波受信器ユニットとの間に二方向通信リンクを更に備える請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 5】

音波メッセージ信号は、タイムスタンプを含む請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 6】

タイムスタンプは、連続番号である請求項 5 に記載の位置決めシステム。

【請求項 7】

海洋船と音波受信器ユニットとの間に通信リンクを更に備え、それを通してクロック同期した信号が音波受信器ユニットへ送られる請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 8】

表面ユニット内の GPS 受信器は、無線周波数の GPS 信号から GPS 時間を再生し、そして表面ユニットは、GPS 時間に同期したクロックを更に有し、このクロックは、音波メッセージ信号を送信する時間を決定する請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 9】

音波受信器ユニットに関連し、そして音波受信器ユニットによって決定された位置を使用してケーブルを制御するケーブル制御デバイスを更に備える請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【請求項 10】

表面ユニットの少なくとも 1 つは、防雷具、テールブイ、およびジェットスキーからなる群から選択された海洋測量設備に収容される請求項 1 に記載の位置決めシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[背景]

本発明は、一般に沖合地震探査に関し、特に地震測量船後方の水中を牽引または引きずられるハイドロホン・ストリーマまたはボトムケーブルの位置及び形状を決定するための装置および方法に関する。

【0002】

沖合地震探査では、通常ストリーマと呼ばれる水中ケーブルの一群が、表面船のような海洋船によって水中を牽引される。各ストリーマは、海底地質構造からの地震反射を受信することに使用されるハイドロホンの配列を備え、またストリーマの形状および位置を決定すること、およびそれらの深さを制御することに使用される種々のセンサおよび制御デバイスを備える。表面船はまた、地質構造中に地震エネルギーを放射するするために、人工震源、典型的には規則的な間隔で発射されるエアガンを牽引する。精度の良い測量をするためには、ストリーマの形状および位置並びに人工震源は、精度良く知られていなければならない。従来は、深さセンサ、音波測距トランシーバおよび磁気コンパスがストリーマに沿って配備され、データを与える。このデータから、船上で、または地震データが処

10

20

30

40

50

理されるときに、ストリーマの相対的形狀が計算される。ヘッドブイ及びテールブイが、可視マーカとして、ストリーマのヘッドエンドおよびテールエンドにつながれている。表面船上および人工震源上の音波測距トランシーバは、ストリーマのヘッドエンドのトランシーバと連合して、ストリーマのヘッドエンドの位置を船と人工震源に関連付けるための音波ネットワークを形成する。テールブイ上およびストリーマのテールエンド上の音波測距トランシーバは、テールエンド音波ネットワークを形成する。船上、人工震源上およびストリーマのヘッドエンドにおけるテールブイ上のGPS（全地球位置把握システム）受信器は、ストリーマのヘッドエンドおよびテールエンド、人工震源および船の位置を絶対地質位置に関連付ける。多くの深さ、範囲、および全ストリーマの広がり内でなされたヘディング観測結果から、センサ位置を、そしてそれによりストリーマの形状を評価することに、複合ナビゲーション・システムが使用される。

10

【0003】

これら従来のケーブル位置決めシステムは良く機能するが、いくつかの欠点を有する。例えば、音波測距トランシーバは、十分なエネルギーの音波パルスを送信して良質のレンジを達成するために多くの電力を必要とする。この電力の必要性は、バッテリーから電力供給されるデバイスに対するバッテリー寿命を短縮し、またストリーマから誘導的に電力供給されるデバイスに制約を課す。さらには、インライン・レンジ（即ち、ストリーマの長さに沿ったレンジ）の達成は、特に音波変換器がストリーマの中に搭載されるときは、そこから吊り下げられる場合と比べて困難である。また、ストリーマ内コンパスは、それらがストリーマを通して設けられた金属強度部材および導体に接近していることによって、負に影響される。しかしながら、これらのデバイスは、ストリーマに内蔵されるのではなく、そこから吊り下げられる場合、ストリーマが収納リールに巻き上げられる前に取り外され、そしてストリーマにタールが塗られるときに再度取付られなければならない。この取り外しおよび取り付けは、ストリーマの回復および配備を妨害する。さらには、ナビゲーション・システムは、ストリーマの型から、また多くの観測結果から、センサの位置だけを評価する。1以上の他の評価された位置から多くの位置評価が推定されるので、位置誤差はストリーマに沿って蓄積する。この位置誤差伝播の問題は、特に長いストリーマでは厄介である。

20

【0004】

これらの欠点が示唆するように、低い電力消費、ストリーマ回復および配備に対する最小の妨害、および精密なストリーマ位置決め等の利点を与えることができるストリーマ位置決めシステムに対する必要性がある。

30

【0005】

ナビゲーション用にGPSを使用することは広く行なわれ、しかも発展し続けている。GPS衛星は、水を通過できない無線周波数を送信するので、それらは水中応用に直接使用することができない。しかしながら、GPSを水中用途に拡張する努力もされている。例えば、1992年6月2日にヤングバーグに対して付与された米国特許第5,119,341号の「GPSを水中用途に拡張するための方法」は、ブイ搭載型ビーコンを提供するシステムについて記載している。これは、ビーコンの位置をGPS衛星信号からダイナミックに決定すると共に、ビーコンの位置を表すデータを音響的に水中車両に対して放送するものである。もう1つのシステムは、オーストラリア国フレマントルのノートロニクス社によって販売されているNASNet（商標）であり、このシステムでは、複数局のネットワークが海底の測量された位置に配置される。一度定位置に置かれると、それらの局は、時間に関係したGPS様の情報を1以上の受信専用ユーザに送信する。この受信専用ユーザは、GPS受信器がGPSデータを使用するのと同様手法で、その情報を使用する。

40

【0006】

しかしながら、これら双方の「水中GPS」システムでは、音波送信器は、静止または流れて、海洋の固定された体積またはゆっくり変化する体積をカバーするものとなっている。海洋の他の部分、例えば新たな地震測量で使用されるためには、もう1つのそのよう

50

なネットワークが定位置に設定されなければならない。この理由から、上述したシステムの双方は、沖合地震探査におけるストリーマ位置決めで使用される上で欠点を有する。

【0007】

[要約]

この発明の特徴を有するストリーマケーブル位置決めシステムによって、前記の欠点は克服され、また前記の必要性は満足させられる。この位置決めシステムは、海洋船と共に水面を移動する少なくとも2つの表面ユニットを備える。各表面ユニットは、無線周波数のGPS信号を受信して、自らの位置を決定するGPS受信器を有する。各表面ユニット内の音波送信器は、自らの表面ユニットの位置を表す音波メッセージ信号を送信する。船の後方を牽引される1以上のケーブルに沿って、複数の音波受信器ユニットが水中に配設される。各ケーブルは、船に近接したヘッドエンドから反対側のテールエンドまで延びている。各音波受信器ユニットは、表面ユニットによって送信された音波メッセージ信号を受信して、その音波メッセージ信号から自らの位置を決定する音波受信器を有する。

10

【0008】

この位置決めシステムのもう1つのバージョンでは、音波トランシーバユニットがケーブルの1つに取り付けられる。この音波トランシーバユニットは、音波受信器と、音波送信器とを有する。音波受信器は、複数の表面ユニットから送信された音波メッセージ信号を受信して、その音波メッセージ信号からそれ自身の位置を決定する。音波トランシーバユニット内の音波送信器は、それ自身の位置を表す音波メッセージ信号を水中に送信する。少なくともいくつかの音波受信器ユニット内の音波受信器は、音波トランシーバユニットからの音波メッセージ信号を受信して位置決定に使用する。これらの音波トランシーバユニットは、例えば、表面ユニットから遠方のストリーマに沿った位置の表面ユニットによって送信されたメッセージ信号を増大することに、あるいは位置決め幾何学を改良することに使用される。

20

【0009】

この発明の特徴を有するストリーマケーブルの位置決め方法では、ストリーマケーブルの群が海洋船の後方を牽引される。このケーブルのヘッドエンドは、船に近い端部として定義され、またテールエンドは遠い端部として定義される。GPS受信器および音波送信器を有する複数の表面ユニットは、離れた位置を牽引される。音波受信器を有した複数の音波受信器ユニットは、ケーブルに沿って取り付けられる。GPS信号は表面ユニットによって受信され、位置データに変換される。表面ユニットの位置を表す音波メッセージ信号は、各表面ユニットから音響的に水中に送信される。音波メッセージ信号は、音波受信器ユニットによって受信され、それら自身の位置を決定することに使用される。

30

【0010】

このように、この発明は、地球表面上に偏在するGPSの精度を、牽引された水中ストリーマの位置決め拡張するための装置および方法を提供する。

【0011】

この発明のこれら及び他の利点、特徴および形態は、以下の説明、添付された請求の範囲、および添付図面を参照することによって、よりよく理解される。

【0012】

40

[詳細な説明]

この発明の特徴を具体化するストリーマ位置決めシステムが、図1及び2の例に図示されている。この例では、図1に4つのストリーマA、B、C、Dとして表されているハイドロホン・ストリーマのネットワークを海洋船Vが牽引している。勿論、より多いか少ないストリーマを使用することができる。地震探査に使用されるストリーマは、典型的には2~3キロメートルの長さである。例えば、これらのストリーマは8kmの長さであり、最外側のストリーマは互いに700m離れている。ここでは、ストリーマは、船に最も近いヘッドエンド部Hと、中間部Mと、テールエンド部Tとに分断されて示されている。この例では、ストリーマAは外側の右舷ストリーマであり、ストリーマBは内側の右舷ストリーマであり、ストリーマCは内側の左舷ストリーマであり、ストリーマDは外側の左舷ス

50

トリーマである。図2では、明瞭にするために、右舷ストリーマA, Bだけが異なる深さで図示されている。約150メートル毎にストリーマに取り付けられた深さ制御デバイス(図示せず)は、典型的な測量中にケーブルを一定の深さに維持する。船はまた、エアガンのアレイからなる人工震源Sを牽引する。防雷具ケーブル10の端部にある左舷および右舷の防雷具Pp, Psは、ストリーマケーブルが広がったまま離れていることを助ける。ストリーマケーブルは、それらのヘッドエンドが直接防雷具ケーブルに取り付けられているものとして示されているが、実際の配備では、より典型的に左舷および右舷の防雷具ケーブル間に張設されたもう1つのケーブルに取り付けられる。ストリーマケーブルのヘッドエンドはまた、電力を受けるために船に電氣的に接続されており、またコマンド信号を船から受信したり、ハイドロホンおよびセンサのデータを船に送るために電氣的または光学的に接続されている。各ストリーマのテールエンドは、ストリーマのテールエンドに繋がれて海面L上に浮かんだテールブイ12によってマークされている。

10

【0013】

ストリーマケーブルの位置決めを助けるために、船はまた、表面ユニット14を牽引する。表面ユニットは、防雷具の内部または防雷具の外部で防雷具ケーブルに接続され、更に補助防雷具16によって分離されている。テールブイ12もまた表面ユニットを有することができる。もう1つの変形例として、遠隔制御型の自律表面車両、例えばジェットスキーを、表面ユニットに装備することができる。図3に模式的に示された表面ユニットは、牽引されるか、後方の海底に沿ってひきずられるか、さもなければ船と共に海面に沿って移動する。このユニットは、表面に浮かぶような浮揚性がある。水線Lよりも上方のGPSアンテナ18は、GPS衛星22または地上基地所属の差動GPS局からの無線周波数のGPS信号を受信する。(GPS信号を受信し、また音波メッセージ信号を送信するデバイスを指す用語として全体を通して「表面ユニット」が使用されているが、この用語は海面上を牽引されるデバイスだけに限定されることを意味したものではない。そのようなデバイスを「表面ユニット」にするものは、無線周波数のGPS信号を受信するデバイス自体の能力である。この結果、表面下で動作するが、表面まで延びたGPSアンテナを有して、防雷具内に組み込まれたそのようなデバイスもまた、この明細書の語彙では表面ユニットとして定義される。従来GPS受信器24は、この信号を使用して自らの位置(厳密に言えば、そのアンテナの位相中心の位置)を決定する。プロセッサ26は、PGS受信器から位置データおよび他のGPSデータを、またピッチセンサやロールセンサのような姿勢センサ27から姿勢データを集める。このプロセッサは、モトローラMC68HC11のようなマイクロプロセッサを有することが好ましい。このプロセッサは、GPSデータ、姿勢データ、およびGPSアンテナに対する音波変換器30の位置の先験的知識を、変換器の絶対位置の計算に使用する。ここでは、この絶対位置が表面ユニットの位置と呼ばれる。このプロセッサはまた、変換器によって水中に送信されるメッセージ、好ましくは変換器の位置を表す座標を少なくとも含んだ短縮されたメッセージ、例えば図4に示されるようなものを構築することが好ましい。

20

30

【0014】

図4の例のメッセージは、海面上のx-y座標平面における表面ユニット(より具体的には、その変換器)の座標を表す2つの15ビットワードと、例えばGPSタイムスタンプや連続番号を含むことがあるオプションのタイムスタンプだけを含んでいる。x-y平面の原点は、地震測量領域内の固定点や、移動する測量船上の点の位置のように、任意に選択できる。タイムスタンプは、以下で説明される所定環境内でのオプションである。タイムスタンプは、衛星から受信されるGPS時間に基づいている。前述したように、この短縮されたメッセージは、好ましいメッセージではあるが、追加データや識別印を含ませることが可能である。タイムスタンプは、位置決めシステムのいくつかのバージョンでは必要ではなく、それらの応用では省略できる。各測定サイクルでインクリメントされる連続番号は、GPSタイムスタンプの変形例を提供する。この連続番号は、メッセージデータが属する測定サイクルを示す。このため遅れて受信されたメッセージによって引き起こされる不明瞭性が解決される。3ビットのワード長は、GPSタイムスタンプまたは連続

40

50

番号にとって十分である。メッセージは、音波送信器 28 に送られる。この音波送信器は、好ましいバージョンでは、このメッセージによって変調された疑似ランダム符号のスペクトル拡散信号を、音響周波数帯、例えば 2 kHz ~ 20 kHz に発生する。各表面ユニットは、それ自身を他の表面ユニットから区別するために、独特な疑似ランダム符号を有することが好ましい。例えば、キャリア周波数毎に 5 つの十分に相関のないチャンネルをサポートして約 5 kHz のキャリア周波数で動作する 4095 チップのゴールド符号は、12 km の範囲に適している。約 10 kHz のキャリア周波数は、3 km の範囲に適している。15 ビットのメッセージワード長は、x - y 位置にとって好ましい。これは、15 ビットが十分な空間分解能を与えるからであり、また 15 が符号長 4095 の 1 つの因数だからである。第 2 の例として、キャリア周波数毎に 5 つの十分に相関のないチャンネルをサポートして約 5 kHz のキャリア周波数で動作する 1023 チップのゴールド符号は、12 km の範囲に適している。約 10 kHz のキャリア周波数は、3 km の範囲に適している。15 ビットのメッセージワード長は、x - y 位置にとって好ましい。これは、15 ビットが十分な空間分解能を与えるからである。33 ビットのメッセージ長は、好ましい。これは、33 が符号長 1023 の 1 つの因数だからである。毎秒 1023 チップで、符号は秒毎に繰り返す。毎秒 33 ビットで、メッセージは 1 秒で完了する。3 ビットのタイムスタンプ連続番号は、それ自身を 8 s 毎に繰り返し、音の速度を $c = 1500 \text{ m/s}$ として、12 km までの範囲を明白に決定する。スペクトル拡散音波メッセージ信号 29 は、全方向性ビームパターン用のセラミック球やセラミック筒である音波変換器によって水中に送信される。クロック 32 は、クロック信号をプロセッサおよび音波送信器に与える。このクロックは、GPS 受信器の内部クロックに同期させることができる。音波メッセージ信号は連続して送信されるので、受信器はロック状態を維持できる。音波メッセージ信号が、例えば人工震源からの干渉によって妨害される場合、受信器内の位相同期ループは、信号対雑音比がしきい値以下に低下すると楕走し、そして信号対雑音比が受容可能なレベルまで増加すると追跡を再開する。同様に、送信器は、パルスモードで動作可能にされる。このモードでは、音波メッセージ信号は、規則的な間隔でゲートオンおよびオフされる。連続して送信される音波信号は、音波受信器がそれらの位置をしばしば十分に更新することを可能にして、同位置に配置されたケーブル制御デバイスによる自律ケーブル操舵を可能にする。更には、表面船の船上ナビゲーションシステムとの通信に失敗しても、この発明の位置決めシステムは、制御コマンドを送るのに船上ナビゲーションシステムを必要としないので、ケーブルを操舵したり、水平に保ち続けることができる。これにより、自律ケーブル制御が達成される。遠隔測定データを有するメッセージは、全ての応用で必要とされない。遠隔測定データなしに、表面ユニットによって水中に送信された符号化されたデータは、上述したように、受信器によって受信され、追跡される。受信器で測定された符号遅延は、疑似レンジ（表面ユニットから受信器までの遷移時間）を表す。位置情報は、船上で疑似レンジから求められる。

【0015】

表面ユニットは、この例ではアイレット 34 に取り付けられた牽引リーダまたはロープによって牽引点につながれている。船上ナビゲーションシステムとプロセッサとの間に、好ましくは防水コネクタ 38 を通る布線式の光学的または電氣的導体を介して、通信リンク 36 が確立されている。表面ユニットはまた、布線式の通信リンクを含んだ電気ケーブルを通して船から電力を得ることが好ましい。電力変換器 40 は、入力電力を、表面ユニット内の電子回路に電力供給するに必要な電圧に変換し、調節する。勿論、電池や他の電源で表面ユニットに電力供給すること、並びに船との間に無線通信リンクを確立して、布線式の接続を省略することも可能である。この通信リンクは、船から表面ユニットの動作をモニタしたり、制御することに使用できる。

【0016】

表面ユニットによって水中に送信された音波メッセージ信号は、図 1 及び 2 に示されるように、ストリーマケーブルの全長に沿って取り付けられた音波受信器ユニット 42 によって受信される。音波受信器ユニットは、ストリーマの内部に搭載されるか、または 2 つ

10

20

30

40

50

の連続したストリーマ区間の間に接続されたストリーマと直線的に並んで搭載されることが好ましい。典型的な配備では、音波受信器ユニットは、各ハイドロホン受信器群の中心に、またケーブル水平化デバイスやケーブル操舵デバイスのようなケーブル制御器の位置に設置される。表面ユニット内およびストリーマの長さ方向上にある音波送信器の送信レンジに依存して、音波受信器ユニットの全てまたは一部は、全ての表面ユニットの音波メッセージ信号を受信する。しかしながら、音波受信器ユニットは、遠くの表面ユニットからではなく、近くの表面ユニットからの音波メッセージ信号を受信することが可能である。

【 0 0 1 7 】

音波受信器ユニットのブロック図が図5に示されている。表面ユニットから到来する音波メッセージ信号29は、各音波受信器ユニット内の音波変換器44によって受信される。受信側の変換器は、セラミック球か、P V D F (フッ化ポリビニリデン)テープか、他の構造物であるが、送信はしないので、表面ユニット内の変換器よりは遙かに小さくて良い。変換器の出力は、音波受信器46に与えられる。この音波受信器は、スペクトル拡散音波メッセージ信号を復号して、送信側の表面ユニットの同一性を決定し、またそのメッセージに含まれる位置データとオプションのタイムスタンプを使用して、それ自身の位置を決定する。このようにして、音波受信器は、表面ユニット上の無線周波数GPS受信器に似た機能を果たす。位置情報は、表面ユニット内のプロセッサと同様のプロセッサ48に送られる。さらには、表面ユニットと同様に、音波受信器ユニットは、クロック50を有する。電力変換器52は、船からストリーマケーブルを介してオーミックまたは誘導的に、あるいは電池から電力を受け、その電力を、電子回路によって必要とされる動作電圧に変換する。ストリーマとその通信システムを通して音波受信器ユニットと船との間に通信リンク45が確立されている。コマンドおよび制御メッセージは、通信リンクを通して船上ナビゲーションシステムから音波受信器ユニットへ送られる。このシステムはまた、クロックのドリフト問題を回避するために、クロック同期用メッセージ信号を送って、種々の受信器ユニットのクロックを周期的に、好ましくはGPS時間に関連付けて、同期させる。受信器ユニットのクロックを送信器のクロックに同期させると、与えられた位置は、僅かな観測結果から計算される。このことは、長くて幾何学的にやりがいのあるレンジにとっては特に重要である。ステータスおよび位置情報は、音波受信器ユニットから船に送られる。このユニットは、内蔵されるか、他の機能性を有するデバイスの一部となりうる。例えば、音波受信器ユニットは、バードのようなケーブル水平化デバイスやケーブル操舵デバイスの一部であるか、それと同位置に配置される。

【 0 0 1 8 】

受信器ユニットは、図6に更に詳細に示されている。変換器44は、到来するメッセージ信号を電気信号に変換する。この電気信号は、プリアンプ66で増幅され、帯域通過エイリアス除去フィルタ68でフィルタリングされ、アナログ/デジタル(A/D)変換器70でサンプリングされ、デジタルサンプルに変換される。デジタルサンプルは1以上の受信器チャンネル72に送られる。好ましいバージョンでは、11の周波数またはFDMA(周波数分割多元接続)チャンネルが使用される。周波数チャンネル毎に5つの符号またはCDMA(符号分割多重多元接続)が使用可能である。合計55のFDMA/CDMAチャンネルがシステムに存在することが好ましい。音波メッセージ信号を表すデジタルサンプルは、その周波数がベースバンド変換器でベースバンドにダウンシフトされる。ベースバンドのサンプルは、デジタルチャンネル信号を取り出すために、相関器78において、符号発生器76によって発生されたチャンネルの疑似ランダム符号と相互に関連させられる。音波メッセージを変調している遠隔測定データ(メッセージデータ)は、データ復調器80において取り出され、プロセッサ48へ送られる。疑似レンジデータ、即ちそのチャンネル上の送信側表面ユニットからのレンジは、符号追跡用のループフィルタ82で取り出され、プロセッサへ送られる。符号追跡用のループフィルタはまた、符号NCO(数値制御型発振器)84を通して符号位相を常に調整する。符号遅延は、音波メッセージ信号が発信元の送信器(表面ユニットの変換器)から受信器の変換器へ遷移する時間の尺度である。キ

10

20

30

40

50

キャリア追跡用のループフィルタ 86 は、ベースバンド変換器によって使用される局部周波数を、音波信号のキャリア周波数におけるドップラー偏移について調整する。キャリア追跡用のループフィルタによって制御されるキャリア N C O 88 は、ベースバンド変換器に与えられる局部周波数を効果的に調整する。キャリアループフィルタはまた、音波遷移時間中の発信元送信器と受信器との間の相対速度の尺度である疑似レンジレートを、プロセッサに出力して、位置計算上の相対運動の効果を補償することに使用する。コマンドおよび同期用信号は、通信インターフェース 90 を通して通信リンク 54 上をプロセッサに向けて送信される。クロック 50 並びにそれに由来する信号は、精密な受信器動作のためにプロセッサおよび受信器の電子回路によって使用される。計算された位置、未処理の疑似レンジデータ、および他のデータもまた、通信リンクを通して船に送信できる。

10

【 0 0 1 9 】

受信器動作の機能ブロック図が図 7 に示されている。各受信器は、N 個の音波信号を獲得および追跡することが可能である。好ましいバージョンでは、各受信器は、それぞれが個々の F D M A / C D M A チャンネル上にある 1 2 個の信号を受信することができる。各チャンネル用の信号は、遠隔計測またはメッセージデータを取り出すために復調される。符号およびキャリア追跡用のループフィルタは、疑似レンジと疑似レンジレートを測定する。メッセージデータ、疑似レンジ、および疑似レンジレートは、メモリに格納され、プロセッサによって受信器の変換器の位置を計算するために使用される。発信元送信器と受信器との間のタイミングの不明瞭性を消去するために、クロック同期用信号が通信リンクを通して送信され、受信器のクロックを更新し、また信号発生器と他の受信器ブロックを同期させる。同期用信号が妨害または喪失された場合、タイミングの不明瞭性は、3 以上のレンジおよび遠隔計測データを受信し、受信器クロックのオフセットについて解明することによって、限られた時間だけ解消される。

20

【 0 0 2 0 】

この位置決めシステムの 1 つの好ましいバージョンでは、チップレート 4 5 5 H z の 4 0 9 5 チップのゴールド符号が使用される。この結果、9 s の符号周期となる。船上制御器を含む全ての表面ユニットは、G P S 時間に同期する。音波送信器を有する表面ユニットは、各音波符号周期の開始を G P S 1 P P S 信号に (9 s 毎に) 同期させる。通信リンク上にクロック同期用のメッセージ信号がない場合、受信器はそれらの局部クロックに依存して同期を維持する。この位置決めシステムの第 2 の好ましいバージョンでは、チップ

30

【 0 0 2 1 】

メッセージブロックは、メッセージブロック送信の開始時刻における送信器の位置に対応した新鮮な各秒毎の位置更新を伴って、1 s 間隔で繰り返す。各メッセージは、符号周期が G P S 時間に占める時間の秒を示すメッセージ連続番号 (使用される好ましいバージョンに依存して 1 ~ 9 または 0 ~ 7) を含む。メッセージ連続番号は、受信器によって、符号長に起因したレンジの不明瞭性を解決するために使用される。パルス送信モードでは、各送信器は、その周期的送信間隔の 2 ~ 4 倍であるロールオーバー間隔を有する G P S 1 P P S 出力から得られる 1 s カウンタを維持する。全ての位置計算は、受信器の測定された深さと、送信器の名目または測定された深さとを傾斜レンジ計算に使用して、2 次元 x - y 位置 (x 座標、y 座標) を解明する。

40

【 0 0 2 2 】

このシステムは、種々の動作モードで動作するように設計されている。第 1 のモードでは、送信器と受信器は連続して動作し、受信器は通信リンクを通して周期的に再同期される。クロック同期用のメッセージ信号は、受信器のクロックを G P S 時間に同期させるために、各音波符号周期の開始時に通信リンクを通して送信される。受信器は、送信器の符

50

号化された信号を連続して追跡する。送信器のメッセージ連続番号と $x - y$ 位置は、各送信器のメッセージブロックに含まれている。受信器は、この情報を受信時に復号して、それを局部メモリに格納する。同期用信号の受信時に、受信器は、必要とされるクロック調整を行って、そのクロックを（通信遅延について調整された）同期用信号の受信時刻に一致させ、そして位置更新を開始する。受信器は同時に、各送信器からの符号位相を測定し、またその局部メモリから最も遅く復号された位置を検索する。一般に、共通符号位相の測定時間と最後のメッセージブロックの開始との間には、各受信信号について異なる時間オフセットがある。各送信器について、受信器は、これらの時間オフセットを測定、記憶して、位置計算に使用する。各疑似レンジを決定するために、受信器は、その送信器に対して符号位相相関から決定された端数値に、符号周期を乗ずる。受信器は、水中の音速と、測定された疑似レンジと、受信され、符号位相の測定時間に調整された送信器位置とを使用して、自らの位置を計算する。受信器のクロックオフセットは未知数として消去されているので、自律動作は2つのレンジ観測結果で可能になる。

10

【0023】

もう1つの動作モードでは、送信器と受信器は連続して動作するが、クロック同期用信号の恩恵はない。このモードは、受信器のクロックオフセットを解明するために、第3の疑似レンジを必要とする。これは、前のモードで通信リンクが失われたときのバックアップモードである。

【0024】

第3モードの動作では、送信器は、周期的にクロック同期したデューティサイクル50%以下で送信する。受信器も、連続的には動作されない。船上で発生されたクロック同期用のメッセージ信号は、通信リンクを通して全ての送信器および受信器に送信される。この同期用信号を受信すると、各送信器は、短い符号化された信号を送信する。この信号は、独特な送信器IDと、GPS受信器によって決定された現在の $x - y$ 位置とを含んでいる。クロック同期用信号の受信時に、各受信器は、タイマーを始動し、符号化された信号を予期し始める。信号が受信されると、位置が復号され、タイマー値が記憶される。信号受信時間は、その送信器に対する疑似レンジを表す。受信器は、水中の音速と、測定された疑似レンジと、受信された送信器位置とを使用して、自らの位置を計算する。受信器のクロックオフセットは未知数として消去されているので、自律動作は2つのレンジ観測結果で可能になる。

20

30

【0025】

更に別のモードでは、送信器は、デューティサイクル50%以下で動作させられるが、受信器は、連続的である。しかし、通信リンクを通して送られるクロック同期用のメッセージ信号はない。GPS時間に基づく周期的間隔で、各送信器は、独特な送信器IDを含んだ符号化された信号と、それ自身の現在の $x - y$ 位置及びGPS時間を含んだメッセージブロックとを同時に送信する。各受信器のクロックは、GPS時間からの未知のオフセットを有する。各受信器は、符号化された信号を連続的に予期する。送信器から信号が受信されると、送信器位置と信号送信時間が復号される。信号の受信及び送信の時間差は、その送信器に対する疑似レンジを表すが、受信器クロックのオフセットを含んでいる。受信器は、水中の音速と、少なくとも3つの測定された疑似レンジと、受信された送信器位置と、受信された信号送信時間とを使用して、自らの位置とクロックのオフセットを求める。直交性を確実にするために、各送信器は、1023ビットバージョンの場合は、それ自身の1秒ゴールド符号全体を使用する。このことで、例えば、送信器のデューティサイクルを、5s更新サイクルに対して、20%以下に保持できる。

40

【0026】

精密な水中位置計算には、送信器運動を説明する必要がある。送信器位置を求めて、受信器位置の計算に使用するには、いくつかの方法がある。各疑似レンジ測定について、メッセージ受信遅延間隔（疑似レンジ測定と前のメッセージブロックの開始との間の時間）内の送信器運動の影響を除去するには、メッセージブロック内の受信された送信器位置は、疑似レンジ測定時間で処理された符号チップの送信に対応した時間まで、時間的に前方

50

へ投影されなければならない。これには次の3つの方法がある。

【0027】

1) 受信器は、連続してメッセージブロックを復号し、そして送信器速度のフィルタ処理された評価を維持する。受信器は、受信した送信器位置を使用して、フィルタを更新し、そして速度評価を使用して、疑似レンジ測定と前の符号サイクル(1符号サイクル+測定された符号位相の時間等価物)の開始との間の時間に等しい間隔だけ、送信器位置を時間的に前方へ投影する。

【0028】

2) 受信器は、連続してメッセージブロックを復号し、そして復号された最後の送信器位置の1エントリバッファを保持する。疑似レンジ測定時間において、受信器は、次に利用可能なメッセージブロックを復号して、より新しい送信器位置を求め、またメッセージ遅延間隔を測定する。受信器は、現在及び前回の送信器位置の間をメッセージ遅延間隔に基づいて補間し、測定された疑似レンジの送信時間における送信器位置を評価する。

【0029】

3) 送信器速度が表面ユニットのメッセージブロックに加えられる。受信器は、受信された送信器位置及び速度を使用して、メッセージ遅延間隔に等しい間隔だけ、送信器位置を時間的に前方へ投影する。

【0030】

クロックドリフトと、それによって位置評価に生ずる付随したエラーは、もう1つの表面ユニットからのレンジを位置決定に使用することによって、除去または最小化できる。考えることができる音波受信器ユニットの4つの未知位置変数は、a) x - 座標、b) y - 座標、c) z - 座標、およびd) 時間(受信器の時間不明瞭性、または時間オフセット)である。これら4つの変数を解明するには、(4つの表面ユニットからの)4つの個別のレンジが必要とされる。4つの変数を解明することは、音波受信器ユニットのクロックのクロックドリフトを等価的に除去する。高度(深さ)が制御される場合、即ちz - 座標が既知であるか、推測される場合は、3つの表面ユニットだけが必要とされる。通信リンクを通して音波受信器ユニットのクロックを周期的に同期させることで、1つのレンジを消去できる。かくして、クロック同期用の信号によってクロックが同期させられるか、タイムスタンプによって相互に関係づけられ、しかも深さが制御される場合は、2つのレンジ(2つの表面ユニット)だけが必要とされる。深さが制御されない場合は、クロックが周期的に同期させられる限り、3つの表面ユニットだけが必要とされる。かくして、クロックドリフトは、過大評価によって、あるいは周期的なクロック同期によって除去できる。

【0031】

ある種の例では、特にストリーマの中間部Mに近い場合、図8に示されるように、音波受信器ユニットの精密な位置評価は、達成することが困難である。浮遊対象物をストリーマの中間部分につなげることは一般的ではないので、表面ユニットは通常、ストリーマのヘッドエンドとテールエンドの付近におかれる。信号の劣化および音波レンジの制限、更には悪い幾何学的配列故に、ロングレンジでは、表面ユニットによって送信された音波メッセージ信号を他の音波メッセージ信号で補充したり、完全に置換することが必要になる。この結果を達成するための1つの手法は、ストリーマケーブルの、例えばストリーマの長さの25%および75%位置に取り付けられた音波トランシーバユニット56による。この音波トランシーバユニットは、音波受信器ユニット42と同様であるが、図9のブロック図に示されるように、音波メッセージ信号58を送信可能な付加能力を有する。音波トランシーバユニットは、音波受信器ユニットのそれと同様な受信チャネルを有する。唯一の相違は、より大きな音波変換器60を使用して、音波送信のレンジを拡張することが好ましい点である。音波送信器62は、水中に送信される音波パルスを発生するために、この変換器に結合される。図8に最もよく示されているように、ストリーマのヘッドエンドにある表面ユニットによって送信された音波メッセージ信号は、長さの25%位置にある音波トランシーバユニット64によって受信される。音波受信器は、受信したメッセー

10

20

30

40

50

ジ信号 29 を復号して、その位置を決定する。音波トランシーバユニットの位置を含んだメッセージを含む送信メッセージ信号 58 は、ストリーマの中間部分 M にある音波受信器ユニット 42 によって受信されるように、音響的に送信される。かくして、音波トランシーバユニット内の送信器は、表面ユニット内の音波送信器と同様の手法で機能する。このようにして、位置定位は、中間ストリーマ位置へ送信できる。

【 0 0 3 2 】

好みの幾何学的配列は、図 8 に示すように、音波トランシーバユニットを最も外側のストリーマ A, D 上の 25% および 75% 位置に配置することによって達成される。ヘッドエンドの表面ユニットによって送信された音波メッセージ信号を受信して処理することによって、25% 位置の音波トランシーバユニットは、それらの位置を決定することができる。それから、それらのユニットは、それらの位置を表し、しかもタイムスタンプをオプションで含んだ音波メッセージ信号を送信することができる。これらは、中間部 M の最もヘッド側にある音波受信器ユニット 42 によって受信され、そしてそれらの位置を決定することに使用できる。同様に、テールエンド、例えばテールブイ 12 にある表面ユニットは、75% 位置の音波トランシーバユニットを介して、中間部の最もテール側にある音波受信器ユニット 42 を位置決めすることに使用できる。このような増大方式によって、ケーブル全体は精密に位置決めされる。

【 0 0 3 3 】

音波受信器ユニットの 1 つの特別な用法は、ストリーマケーブルに取り付けられたケーブル制御デバイスと結合することである。このデバイスは、一般にウイングと呼ばれる少なくとも 2 つの制御表面によって、ケーブルを水平化または操舵可能である。近くに位置決めされたケーブル制御デバイスと関連したり、あるいはケーブル制御デバイス内に収容された音波受信器ユニットは、船上制御器に連続して頼ることなしにケーブルを自律的に制御する能力をデバイスに与えることができる。図 10 に示すように、 $x - y$ 位置および位置レート情報 ($x, dx/dt, y, dy/dt$) は、各制御デバイス 100 に関連または収納された音波受信器ユニット 99 によって種々のチャンネルを通して受信されたメッセージから展開された音波メッセージデータ、疑似レンジ、および疑似レンジレートデータを基に、プロセッサ 92 において計算される。深さセンサ 93 によって測定された深さ情報と共に、位置および位置レート情報は、ケーブルの深さ及び横方向オフセットを制御することに使用される。デバイスは、船上制御器から通信インターフェース 90 を通る通信リンク 54 を介してコマンドを受け、船または 1 つの表面ユニットに対する位置を維持する。この代わりに、デバイスは、予測に沿った所定の飛行経路をたどるようにコマンドを受け、受けることもある。デバイスは、通信リンクを通して、船または予測に対する必要な深さおよび横方向位置を表す 1 つのコマンドまたは一連のコマンドを受け、実際の横方向位置は、プロセッサで計算される。実際に計算された位置を、エラー検出器 94 で所望の位置から引くと、1 つのエラーベクターが生じる。このベクターは、ウイング制御器 95 によって使用される。このウイング制御器は、所望のウイング位置を計算するために、エラー検出器のように、ウイング制御アルゴリズムの一部として実現されることが好ましいが、その代わりにハードウェアで実施することもできる (この制御アルゴリズムは、航空機を制御することに使用される自動操縦装置で用いられるものと同様である)。位置と、位置レートと、深さエラーと、例えば方位 (例えば、ロール) センサ 96 によって測定されたケーブル制御デバイスの方位とから求められたウイング制御器の出力は、ウイング位置制御 97 に送られる。ウイング 101 の実際の位置は、ウイング位置センサ 98 によって測定される。実際のウイング位置とウイング制御器の出力から、ウイング位置制御は、ウイングモータに制御信号を送り、それに応じてウイングを動かす。ウイング制御器全般は、多くの手法によって実施されうる。例えば、深さおよび横方向位置は、2 つの個別 PID ループによって、あるいは状態変数方程式またはファジー論理制御を使用した組み合わせで、分離して制御される。

【 0 0 3 4 】

長手方向の軸がストリーマの軸に一致するインラインケーブル制御デバイスについて、

10

20

30

40

50

そのデバイスの軸回りのロールは、制御可能である。ウイングは、ストリーマ軸に直交した方向に力を与えるために、適当な角度に設定（ピッチ）される。ウイングの位置は、ステップモータによって、あるいはウイング位置測定に関連したサーボモータとウイング位置制御器とを使用することによって、制御可能である。ケーブル回りのロールは、単独のモータで交互に制御される。もう1つの例として、3または4つのウイングを有するデバイスが、ケーブル回りの力を制御することに使用される。

【0035】

このようにして、ストリーマ制御は、デバイスと船上システムとの間の通信が失われても、存在できる。バックアップのバッテリーがデバイスに組み込まれている場合、ストリーマ制御は、船上システムとの全ての電気的および光学的接続が失われても、維持される。

10

【0036】

かくして、この発明は、地震探査中に測量船後方を牽引される水中ストリーマケーブルの位置決めにGPSを適用するための装置および方法を提供する。

【0037】

この発明は、好ましい装置および方法を参照して詳細に説明されてきたが、他のバージョンも可能である。例えば、表面ユニットおよび音波トランシーバユニットによって規定される特別な幾何学的配置は、一例に過ぎない。他の配置も明らかに可能である。もう1つの例として、メッセージの内容は、15ビットより大きい小さい分解能の他のデータや位置情報を含むことができる。ケーブルを搭載した受信器ユニットと同位置に深さセンサを配置して、位置の第3の成分を求めることが可能である。ストリーマケーブルや海底ケーブル以外の装備を、このシステムと一緒に配置することができる。それ故、これらの例が示唆するように、請求の範囲の精神および範囲は、好ましいバージョンの説明に限定されるものではない。

20

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】この発明の特徴を具体化する海洋地震測量に使用されるストリーマ配備の1バージョンの頭上概略図である。

【図2】図1の概略図の部分的な立側面図である。

【図3】図1及び2の配備に使用可能な発明の特徴を具体化する表面ユニットを描いたブロック図である。

30

【図4】図3の表面ユニットによって送信される最小メッセージを示す。

【図5】図1及び2の配備に使用可能な発明の特徴を具体化する音波受信器ユニットの基本ブロック図である。

【図6】図5にあるような音波受信器の詳細なブロック図である。

【図7】図5にあるような音波受信器の機能ブロック図である。

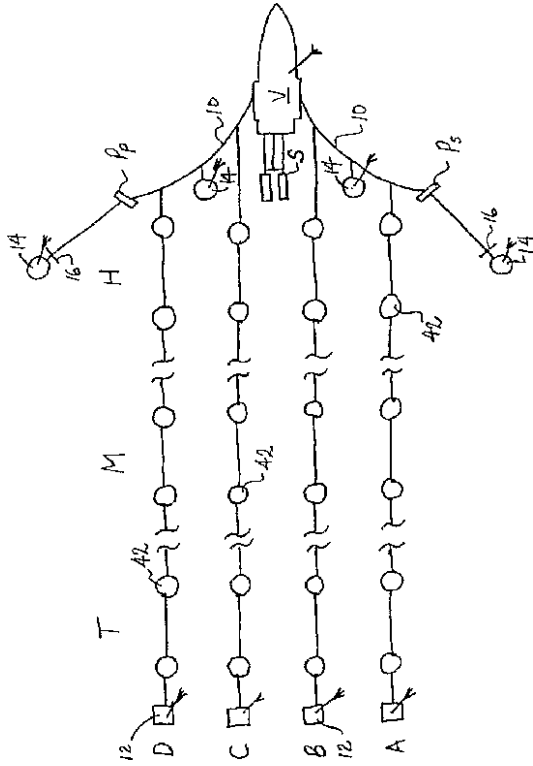
【図8】発明に係るストリーマケーブルを図1及び2にあるような配備に位置決めするための1つの方法を模式的に示す。

【図9】図8の方法で使用可能な発明の特徴を具体化する音波トランシーバユニットのブロック図である。

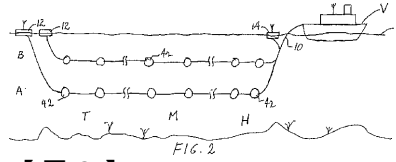
【図10】図5にあるような音波受信器を使用するケーブル制御デバイスのブロック図である。

40

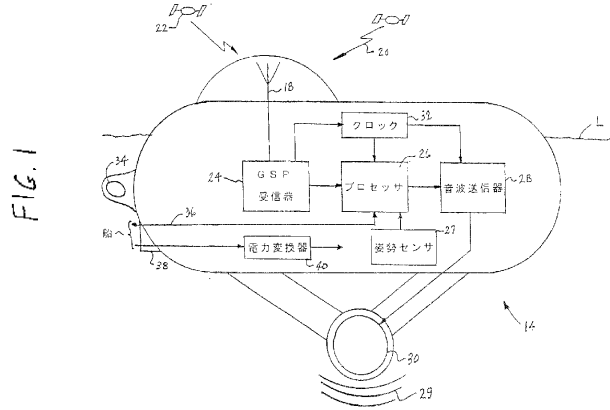
【図1】



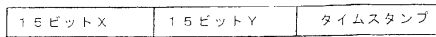
【図2】



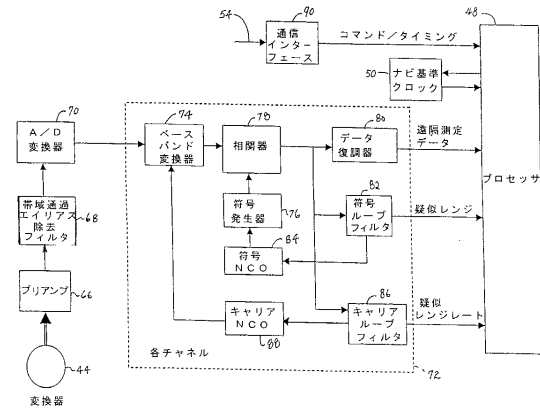
【図3】



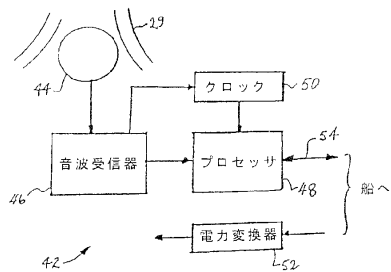
【図4】



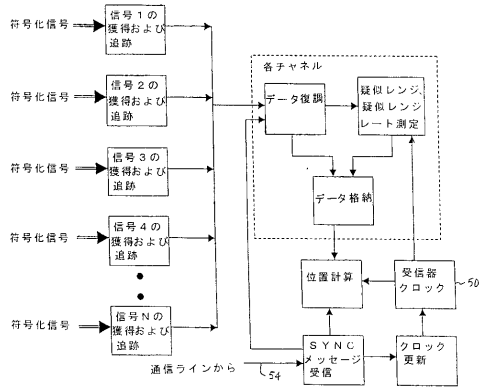
【図6】



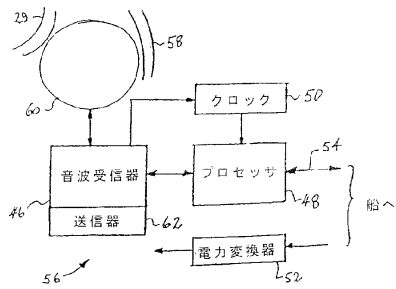
【図5】



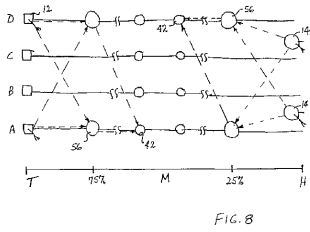
【図7】



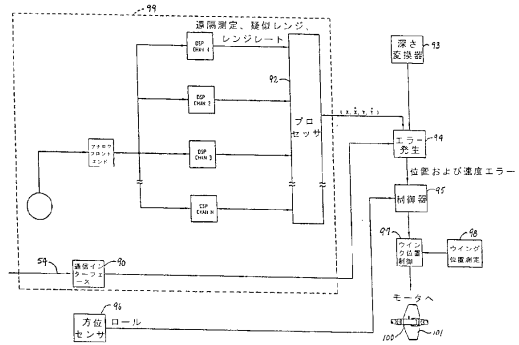
【図9】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 ロウクエッティ, ロバート, イー.
アメリカ合衆国 70065 ルイジアナ州 ケナー メウルソルト ドライブ 633
- (72)発明者 シーレ, ダニエル, ビー.
アメリカ合衆国 70123 ルイジアナ州 ハラハン ウエスト インペリアル ドライブ 90
- (72)発明者 ギュイロット, クレム, ビー.
アメリカ合衆国 70301 ルイジアナ州 ティーボダウクス ハイウェイ 1 ロット ビー
164

審査官 中村 説志

- (56)参考文献 特開平11-038125(JP,A)
特開平09-145821(JP,A)
特開昭57-160077(JP,A)
特開平04-074990(JP,A)
特開昭57-110975(JP,A)
特開昭59-108977(JP,A)
特開平07-270534(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 5/14- 5/30
G01S 7/52- 7/64
G01S15/00-15/96
G01V 1/00- 1/52