(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2010-511172
(P2010-511172A)
(43)公表日　平成22年4月8日(2010.4.8)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01S 5/30	(2006.01)	G01S 5/30		5J083
G01S 15/74	(2006.01)	G01S 15/74		

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 16 頁）

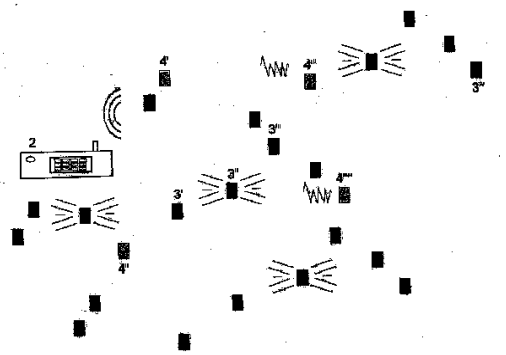
(21)出願番号	特願2009-538858 (P2009-538858)
(86)(22)出願日	平成19年11月28日 (2007.11.28)
(85)翻訳文提出日	平成21年7月23日 (2009.7.23)
(86)国際出願番号	PCT/IT2007/000830
(87)国際公開番号	WO2008/065691
(87)国際公開日	平成20年6月5日 (2008.6.5)
(31)優先権主張番号	RM2006A000638
(32)優先日	平成18年11月30日 (2006.11.30)
(33)優先権主張国	イタリア (IT)

(71)出願人　509146104
カルディナーレ、チコッティ、ジュセッペ
イタリア、１－００１５８　サンタ　マリネッラ（ローマ）、ヴィア　ラファエロ、１２
(71)出願人　509146115
カロテヌート、リカルド
イタリア、１－００１５２　ローマ、ヴィア　パオロ　セグネリ、１５
(74)代理人　100086380
弁理士　吉田　稔
(74)代理人　100103078
弁理士　田中　達也
(74)代理人　100115369
弁理士　仙波　司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】音響波および電磁波を使用して遠隔デバイスを標定するための方法

(57)【要約】
遠隔デバイスによって占有される空間領域をその波面が伝搬し、最終的に遠隔デバイスに到達するパルスを音響送信器から放出するステップと、オンボード マイクロフォンにより前記波面が検知された瞬間に、各遠隔デバイスから無線周波数パルスが放出されるステップと、遠隔デバイスから伝搬する無線周波数信号を無線基地によって取得し、それによりｉ番目の音響源とｊ番目の遠隔デバイスとの間の距離に比例する到達時間遅延の計算を可能にするステップと、遠隔デバイスの個数に等しい最大長Mを有し、かつ受信時間と推定音速の積として得られる一連の距離で構成される受信ベクトルを、ｉ番目の源による各放出に対し形成するステップとによる遠隔デバイスの標定。Ｎ＋１個の受信ベクトルを形成するために、上記ステップを全ての音響源に対して繰り返し、そこから導出された行列式を解くことによってデバイスの位置を算出する。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
ａ）音響パルスを放出するステップと、ｂ）各遠隔デバイスのオンボードマイクロフォンによって前記音響波面を検出したときに、各遠隔デバイス（３′，３″，．．．３Ｍ）から無線周波数パルスを放出するステップと、ｃ）無線周波数信号およびｉ番目の音響源（４）とｊ番目の遠隔デバイス（３）との間の距離（d_{ij}）に比例する時間遅延を無線基地（２）ユニットから取得するステップとを含む、Ｍ個の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^{M}）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法において、
ｄ－ｉ番目の源からの各放出に対し、到達時間遅延と推定音速の積から得られる一連の距離によって形成される構成要素を受信ベクトル（D_i）に連続的に挿入するステップであって、
前記ベクトルが、
ｉ－外乱が存在しない場合には、遠隔デバイスの個数に相当する最大長Ｍを有し、
ii－誤って追加受信信号と解釈されるおそれのある音響または電磁種の外乱が存在する場合に、ノイズ／外乱に従って「過大」になり、計算回数がL_1・L_2・．．．L_{N+1}（Ｌｉ＞Ｍ）まで増加する、
ようにしたステップと、
ｅ－Ｎ＋１個の受信ベクトルを形成するために、Ｎ＋１個の音響源全部に対し前記ステップａ、ｂ、ｃ、ｄを繰り返すステップと、
ｆ－Ｎ＋１個の距離d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}から始めて、Ｎ＋１個の音響源の位置（x_{si}，y_{si}，z_{si}，ここでＩ＝１，２，．．．Ｎ＋１）を中心とする半径d_{ij}のＮ＋１個の球の交点として、ｊ番目の遠隔デバイスの位置X_j＝（x_{1j}，x_{2j}，．．．x_{Nj}）を算出するステップと、
を含むことを特徴とする方法。
【請求項２】
$x_{ij}=x_j$，$x_{2j}=y_j$，$x_{3j}=z_j$とした後、行列計算の次のステップ：
ａ－３つの未知数（x_j，y_j，z_j）を持つ３つの式の線形系を得て、そこから音響源に対して定義された３次元基準系における遠隔デバイスの座標の行列式を得るために、次のシステム；
【数１】

$$\begin{cases}(x_j-x_{S1})^2+(y_j-y_{S1})^2+(z_j-z_{S1})^2-d_{1j}^2=0\\(x_j-x_{S2})^2+(y_j-y_{S2})^2+(z_j-z_{S2})^2-d_{2j}^2=0\\(x_j-x_{S3})^2+(y_j-y_{S3})^2+(z_j-z_{S3})^2-d_{3j}^2=0\\(x_j-x_{S4})^2+(y_j-y_{S4})^2+(z_j-z_{S4})^2-d_{4j}^2=0\end{cases} \qquad (1)$$

における第１の式を他の式から減算するステップ、および
ｂ－ベクトル形式の上記式、
【数４】

$$X_j=A^{-1}B_j \qquad (4),$$

を解き、
行列Ａは源の配列のため可逆であり、源の既知の位置および（Ｎ＋１）個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）から決定されたＡの知識に基づいて、ｊ番目の遠隔デバイス（３）の位置X_jを算出するステップ、
に従うことを特徴とする、請求項１に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^{M}）を３次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。
【請求項３】
式（４）$X_j=A^{-1}B_j$によってベクトルX_jを計算するために、受信ベクトル（D_1，

D_2，．．．D_{N+1}）内の可能な候補（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）を選択する探索手順に従って発生した、受信ベクトル（D_1，D_2，．．．D_{N+1}）内のＮ＋１個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）を各遠隔デバイスｊに対して先験的に区別し、得られた剰余がゼロであるか、または計算全体に影響を及ぼす全ノイズを考慮に入れた所定の閾値未満であることを前提として、前記ベクトルX_jが式（１）で標定問題の許容解であるとみなされることを特徴とする、請求項１または２に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^M）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。

【請求項４】

源が半径r_{max}の球体内に位置し、したがって（Ｎ＋１）個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）の各要素が相互に２r_{max}より大きく異ならない場合、次のステップ：

ｉ－ベクトルD_iの１つから第１の要素を抽出するステップ、

ii－残りのベクトルD_iから、最大限２r_{max}だけ異なりしたがって可能な候補である全ての要素を抽出するステップであって、r_{max}の適正な選択のために、これらの要素の個数はＮ＋１をわずかに超えるようにしたステップ

iii－異なるベクトルの要素を交換することなく、抽出された要素の全ての組合せを計算し、前記組合せを使用して式（４）から１組のX_jを算出するステップ、

iv．ａ－式（４）を介して前記組合せの１つが式（１）でゼロまたは充分に小さい剰余を生じた場合、第１の抽出要素を有効な受信信号として取得し、遠隔デバイスの得られたばかりの座標を記憶する一方で、それぞれのベクトルＤｉから式（１）のベクトルX_jの解をもたらしたＮ＋１個の要素を除去するステップ、

iv．ｂ－上記組合せがどれも有効な結果を出さない場合、ベクトルから抽出された第１の要素はそのベクトルから除去すべき外乱を表わすものであり、それを無効化するステップ、

ｖ－上記iv．ａおよびiv．ｂ両方の後、D_iの第１の要素を再び選択し、ベクトルの要素が無くなるまでステップｉ、ii、iii、iv を繰り返すステップ、

を含むプロセスによって計算作業の軽減がもたらされることを特徴とする、請求項１ないし３のいずれか１項に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^M）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。

【請求項５】

シングルパルス放出源に従って同調した全ての音響源は、信号挙動がおそらく相互に区別不能であるそれらのパルスを同時に放出し、よって単一のパルス繰返し周波数を使用し、関心対象の空間領域における音響波面の単一伝搬時間に限定される待機方式を確立することを特徴とする、請求項１ないし４のいずれか１項に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^M）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。

【請求項６】

ｊ番目のＮ＋１個に属する要素の探索に１つの受信ベクトル（Ｄ）だけを使用するときに、相互に同一であり各々が一意の利用可能なベクトルＤのコピーである、Ｎ＋１個のベクトルD_iを含む手順を使用するために、ベクトルＤから抽出された要素の位置をＮ＋１個の中で交換することも考慮し、前記手順が次のステップ：

ｉ－ベクトルD_iの１つから第１の要素を抽出するステップ、

ii－残りのベクトルD_iから、最大限２r_{max}だけ異なりしたがって可能な候補である全ての要素を抽出するステップであって、r_{max}の適正な選択のために、これらの要素の個数はＮ＋１をわずかに超えるようにしたステップ

iii－異なるベクトルに属する要素を交換することなく、抽出された要素の全ての組合せを計算し、前記組合せを使用して式（４）から１組のX_jを算出するステップ、

iv．ａ－式（４）に基づきこれらの組合せの１つが式（１）でゼロまたは充分に小さい剰余を生じた場合、第１の抽出要素を有効な受信信号として取得するステップ、およびその後、遠隔デバイスの得られたばかりの座標を格納する一方で、それぞれのベクトルD_iから式（１）のベクトルX_jの解をもたらしたＮ＋１個の要素を除去するステップ、

iv．ｂ－上記組合せがどれも有効な結果を出さない場合、ベクトルから抽出された第１の

要素はそのベクトルから除去すべき外乱を表わすものであり、それを無効化するステップ、
ｖ‐上記iv．ａおよびiv．ｂ両方の後、D_iの第１の要素を再び選択し、ベクトルの要素が無くなるまでステップｉ、ii、iii、iv を繰り返すステップ、
を含むことを特徴とする、請求項４および５に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^M）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。
【請求項７】
源から単一遠隔デバイスまでの（平均）経路に沿って音速を時折計算することを通して標定の精度を最適化し、それが式（２）を次式
【数５】

$$\begin{bmatrix} x_{S2}-x_{S1} & y_{S2}-y_{S1} & z_{S2}-z_{S1} & t_{2j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S3}-x_{S1} & y_{S3}-y_{S1} & z_{S3}-z_{S1} & t_{3j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S4}-x_{S1} & y_{S4}-y_{S1} & z_{S4}-z_{S1} & t_{4j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S5}-x_{S1} & y_{S5}-y_{S1} & z_{S5}-z_{S1} & t_{5j}^2-t_{1j}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2-x_{S1}^2+y_{S2}^2-y_{S1}^2+z_{S2}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S3}^2-x_{S1}^2+y_{S3}^2-y_{S1}^2+z_{S3}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S4}^2-x_{S1}^2+y_{S4}^2-y_{S1}^2+z_{S4}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S5}^2-x_{S1}^2+y_{S5}^2-y_{S1}^2+z_{S5}^2-z_{S1}^2 \end{bmatrix}, (5)$$

に変更することによって達成され、ここでt_{ij}は、受信ベクトル（T_1，T_2，．．．T_{N+2}）内のＮ＋２個の（t_{ij}，t_{2j}，．．．t_{N+2j}）に従って、ｉ番目の源から放出された波面のｊ番目の遠隔デバイスにおける到達時間遅延であり、ここで必要な源はＮ＋２個であり、行列Ａは、源と遠隔デバイスとの間の経路に沿った平均音速に対応するＶｊを含むX_jの計算毎に逆転されることを特徴とする、請求項１ないし６のいずれか１項に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．3^M）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための方法。
【請求項８】
請求項１ないし７のいずれか１項に記載の方法を実行することによって、遠隔デバイス（３′，３″，．．．３Ｍ）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための装置であって、
各遠隔デバイス（３）が少なくとも次の構成要素：
Ｉ‐マイクロフォンセンサの近傍の音圧場の挙動および放出された波面の到達を検知するために使用される、関心対象の音響バンドで動作するマイクロフォンと、
II‐インピーダンス適応回路、増幅器、オフバンドノイズ除去フィルタをはじめとする信号処理回路と、
III‐全ての受信音から有効信号を識別するために使用され、閾値検出回路またはサンプル信号との相互相関を通して比較を実行する回路、統計指標を推定するための回路、ニューラルネットワーク等をはじめとする信号認識回路と、
IV‐すでに発生した受信を無線基地ユニットに通信するために使用される、適切なバンドのＲＦ送信器と、
Ｖ‐音響信号の受信、信号の処理、および発生した受信の送信を管理するコントローラと、
を含むことを特徴とする装置。
【請求項９】
無線基地（２）を形成するデバイスが少なくとも次の構成要素：
ａ‐標定精度要件、エミッタから遠隔デバイスまでの最大距離、および動作の無ノイズ性に応じてバンドが選択される音響パルスまたは超音波パルスのＮ＋１個の送信器であって、基準系内のそれらの位置が充分な精度で事前に既知である送信器と、
ｂ‐個々の遠隔デバイスによって放出される、オンボードセンサの位置およびオンボードセンサの読みに関連する信号を検知するのに適した無線周波数受信器（２）と、
ｃ‐音響パルスの放出時間と無線周波数信号の受信時間遅延との間の差から開始して、遠隔デバイスの位置を算出するために使用される算出システムと、

ｄ‐位置決定問題の行列式に基づいており、所与の基準フレーム内の遠隔デバイスの位置を決定するのに適した、無線基地の算出システムによって実行されるアルゴリズムと、
を含むことを特徴とする請求項８に記載の遠隔デバイス（３′，３″，．．．３Ｍ）をＮ次元系内のそれらの座標によって標定するための装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は一般的に、同一遠隔デバイスを標定するための技術、およびそのための関連装置に関する。さらに詳しくは、耐ノイズ性の側面においても最適化された高速探索プロトコルを使用する標定方法（位置決定方法）に関する。

【背景技術】

【０００２】

１次元のみで距離を測定するために通常使用される、距離を推定するための方法は既知である。一部のシステムは、位置および距離を測定するためにパルスのエコーを検知しかつ目標の方向を向いた指向性の高いトランスデューサを利用する、超音響波法に基づくものであった。そのような技術では、トランスデューサと受信器との間の距離は、送信器で発生した信号が受信器に衝突して送信器まで反射して戻る間の通常「飛行時間」と呼ばれる経過時間を用いて、間接的に決定される。

【０００３】

距離は、送信器から受信器の各々まで進むパルスの放出から始まる経過時間を測定することによって決定される。座標の算出は通常、単純な三角測量および／またはラテレーション（lateration）を使用して行なわれる。

【０００４】

近年、環境データの収集および配信のための高密度無線ネットワークと組合されたセンサおよび分散計算システムは、公益、社会、環境保護等のような問題との重要な関連性のため、広く浸透してきた。基本的理念は、全て充分な電力が供給され、単価が低く、無線ネットワークのノード（分岐点）を形成し、データを取得し、かつ単純な処理作業を実行することのできる多数のセンサを空間領域に分散させることにある。これらのセンサとして例えば、温度センサ、湿度センサ、照度センサ、音響マイクロフォンまたは超音波センサ、磁気センサ、慣性センサ、または光センサが挙げられる。

【０００５】

センサネットワークの典型的な目標は、物体または事象を検知、監視、かつ分類することであり、あるいはこのネットワークの近傍のパラメータの値を測定することである。例えば、マイクロバッテリを備え、温度および湿度を測定し、取得したデータを無線基地に送信し、とりわけ、所与の基準フレームに対してそれら自体の位置を決定すること（標定）のできるネットワークノードをトウモロコシの種子ほどに小さく構築することを想像することができる。農家はトウモロコシ畑にネットワークのノードを「播種」することができ、これらは次いで畑全体で検知された土壌の温度および湿度の正確な地図を送信する。他の非常に有望な用途はホームオートメーション（ドモティクス）に関係があり、製品の位置を決定し、製品の流れを制御し、最後に発掘物および製造物の自動調査を実行することを可能にするために、家屋内の物体および人間の位置およびパラメータを監視し、貯蔵所の管理、より一般的にはロジスティックスを支配することを可能にする。

【０００６】

一般的に、ネットワーク構造は次のように「要約」することができる。すなわち、適切なセンサ特性、限定された処理能力を備え、かつエネルギ消費量が低い通信システムを備えた特定数の低コストノードが、所与の空間領域内部に分散される。測定されたエンティティは局所的に前処理され、結果は低電力消費通信ネットワークを介して地方中央局（中央情報処理装置、ＣＩＰ）に伝送される。ＣＩＰシステムはセンサから伝送された情報を処理し、結果をより高い階層レベルの処理センタに送信する［非特許文献１、２、３、４、５、６］。

【０００７】
ネットワークノードに存在するセンサによって提供されたデータを処理するための特定のアルゴリズムは、各ノードの位置が与えられると仮定する［非特許文献７］。しかし、往々にしてノードの位置の充分に正確な知識は入手できない。シングルノードはしばしば、人間によって、または航空機プラットフォームからそれらを投下することによって、現場に配置される。特定の事例は、位置センサを備えたノードに関係する。これらのノードは例えば、位置を時間的に連続して監視することが望まれる物体または人間に配置することができ、その場合システムからの望まれる出力は、基準フレームに対する各センサの位置の知識に存する。
【０００８】
この目的のために、各ノードに全地球測位システム（ＧＰＳ）を備えることができるが、この解決策は非常に高価になり、かつ各ノードのエネルギ消費を著しく増大させる。さらに、ＧＰＳによってもたらされる空間分解能は、家屋内の物体および人間の位置の正確な決定（標定）のような多くの用途にとって不充分であり得る。センサのネットワークにおける自己標定は今日非常に活発な研究分野である［非特許文献３、７、８、９］。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００９】
【非特許文献１】J.N. Ash and R. L. Moses, "Acoustic time delay estimation and sensor network self-localization: experimental results," J. Acoust. Soc. Am., vol. 118, No. 2, August 2005.
【非特許文献２】R. L. Moses, D. Krishnamurthy, R. M. Patterson, "A self-localization method for wireless sensor networks", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 4, pp. 348-358, 2003.
【非特許文献３】D. Esrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava, "Instrumenting the world with wireless sensor networks", Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 4, pp. 2033-2036, Salt Lake City, Utah, USA, May 2001.
【非特許文献４】G. Pottie, and W. Kaiser, "Wireless integrated networks sensors", Communications of the ACM, vol. 43, No. 5, pp. 51-58, 2000.
【非特許文献５】S. Kumar, D. Shepherd, and F. Zhao eds., "Collaborative signal and information processing in microsensor networks", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, No. 2, pp. 13-14, 2002.
【非特許文献６】N. Bulusu, J. Heidemann, an D. Esrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices", IEEE Personal Communications Magazine, vol. 7, n. 5, pp. 28-34, 2000.
【非特許文献７】C. Savarese, J. Rabaey, and J. Beutel, "Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks", Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 4, pp. 2037-2040, Salt Lake City, Utah, USA, May 2001.
【非特許文献８】A. Savvides, C-C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks f sensor", Proc. 7th Annual Int. Conf. On Mobile Computing and Networking, pp. 166-179, Rome, Italy, July 2001.
【非特許文献９】L. Girod, V. Bychkovskiy, J. Elson, and D. Esrin, "Locating tiny sensors in time and space: a case of study", proc. Int. Conf. On Computer Design, vol. 3, pp. 1870- 1874, Freiburg, Germany, September 2002.
【非特許文献１０】F. Figueroa, and E. Barbieri, "Position detecting System and method, U.S. Patent No. 5,280,457, 1994.
【発明の概要】
【００１０】

本発明の目的は、音響波および電磁波の併用に基づいており、高い信頼性および周辺ノイズに対する耐性を特徴とする、遠隔デバイスの位置を決定するための巧妙なアルゴリズムを提供することである。

【００１１】

本発明のさらなる目的は、いかなる種類の識別コードも備えていない同一遠隔デバイスの位置を決定する能力に存する。

【００１２】

本発明の追加の目的は、保守を容易化しかつ信頼性を向上しながら同時にコストを抑制するために、遠隔検知および電子技術の分野で既知である標準技術およびプロトコルの使用に基づき、音響波および電磁波を使用することによって遠隔デバイスを検知するための方法を提供することである。

【００１３】

これらおよび他の目的は、付属の特許請求の範囲に記載される原理に従って、位置を検知するためのシステム（装置）によって、かつＮ次元座標系の関心対象点に配列されたＭ個の装置の座標を決定するための関連技術によって達成される。

【００１４】

該装置は、関心対象点の特定座標に従って配置された複数の受信器に向けて音響信号を放出するための音響種の送信器のシステムを含む。

【００１５】

該方法は、送信器と各受信器との間の距離に関連する測定値を処理することのできる、該装置に関連付けられた解析手段を提供する。解析手段は次に検知手段およびデータ処理手段を含む。検知手段は最初に音響パルスを発生し、その放出時間が検知される。次いで、信号送信と対応する電磁波の受信器による受信との間の時間に関して、それぞれの測定が実行される。時間の測定値およびしたがって取得された距離の測定値を処理するために、算出手段が使用される。さらに詳しくは、１組の「灯台」または「ブイ」が、遠隔デバイスすなわちネットワーク要素を含む空間領域内部で一連の音響パルスまたは超音波パルスを放出する。音響波面が各遠隔デバイスに到達するたびに、デバイスは、他の全てのデバイスに関係なく、フリーＩＳＭバンドの無線周波数信号（ＲＦ）の形で肯定応答信号を無線基地（またはＣＩＰ）に送信する。無線基地は「灯台」の位置および肯定応答信号の到達時間を知り、これらのデータに基づき、頑健なアルゴリズムを用いて各遠隔デバイスの位置を算出する。アルゴリズムは問題の幾何学的制約を利用して、望ましくない音響反射、環境外乱、または他の原因による疑似肯定応答信号を排除することができる。

【００１６】

該システムは、数百個の遠隔デバイスが数百平方メートルの空間領域に位置するノイズの多い環境で動作することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】本発明の「動作の仕方」の機能ブロックによる略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【００１８】

単に本発明をより明瞭に示すことをだけを目的として、これによりその適用可能性および請求の範囲を限定することなく、以下の説明では、本発明の「動作の仕方」の機能ブロックによる略図を示す添付の図１を参照することによって、幾つかの特定の実施形態を記載する。

【００１９】

提案するシステムは、計算能力全体が無線基地２のユニット内部に集中する一方、個々の遠隔デバイス３′，３″，．．．３^{M}を検知するための標定部が極めて単純であるネットワーク構造に基づいており、加えて、同一遠隔デバイスを標定する能力は、遠隔デバイスの大量生産および生産コストの大幅な節減を可能にする、

【００２０】

提案するシステムは、単一チップへのセンサ付き計算ユニット、信号の調整および変換のための回路、および無線通信電子機器の集積を利用することができ、それによって完全なシステム、いわゆるシステムオンチップ（ＳＯＣ）を構築することが可能であり、それは本発明のシステムをさらにいっそう魅力的にする。

【００２１】

おそらくオンボードセンサが設けられた複数の遠隔デバイスの位置をＮ次元基準系で決定するためのシステムであって、これらの遠隔デバイス３がＮ＋１以上の個数の適切な音響または超音波エミッタ４からの信号を受信するように構成されたシステムについて、関連方法と併せて説明する。

【００２２】

したがって該システムは、所与の基準フレームに対してその位置を決定しようとする遠隔デバイスを含む空間の領域で、一連の音響パルスまたは超音波パルスを放出する、「灯台」または「ブイ」と呼ばれる音響波または超音波の複数のエミッタ４′，４″，．．．４Ｎ＋１を含む。圧力波は（気体、液体、または固体の）媒体中を伝搬し、遠隔デバイス３′，３″，．．．3^{M}に到達する。

【００２３】

各デバイスに音響波面が到達する瞬間に、デバイスは、他の全てのデバイスとは関係なく、無指向性の肯定応答無線周波数信号（ＲＦ）を送信し、それは無線基地ユニット（またはＣＩＰ）によって検知される。無線基地２は、音響「灯台」４′，４″，．．．4^{N+1}の位置および肯定応答信号の到達時間遅延を知り、これらのデータに基づき、下述する頑健なアルゴリズムを利用して各ノードの位置を算出する。

【００２４】

各遠隔デバイス３は、少なくとも次の構成要素によって形成される。

‐関心対象の音響バンドで動作し、センサ位置における音圧場の挙動および灯台によって放出された波面の到達を検出するマイクロフォン。

‐信号調整回路（インピーダンス適応、増幅器、オフバンドノイズ除去フィルタ）。

‐全ての受信音の中から有用な信号を識別する信号認識システム（最も単純な形態では、これは閾値検出回路、またはサンプル信号との相互相関によって比較を行なうことのできる回路、統計指標を推定するための回路、ニューラルネットワーク等である）。

‐すでに発生した受信を基地局に通信するための適切なバンド（例えばＩＳＭ）のＲＦ送信器。おそらくオンボードセンサの読みを基準系における遠隔デバイスの位置と正確に関連付ける目的のために、送信器は遠隔デバイスを一義的に識別するコード、およびそのセンサによって読み取られたデータを送信することができなければならない。

‐音響信号の受信、信号の処理、および発生した受信の送信を管理することをタスクとするコントローラ。

【００２５】

無線基地２は、少なくとも次の構成要素によって形成される。

‐そのバンドが位置決定（標定）の精度要件、エミッタから遠隔デバイス３′，３″，．．．3^{M}までの最大距離、および動作の無ノイズ性に応じて選択される音響または超音波パルスのＮ＋１個の送信器。所与の基準フレーム内の送信器の位置は充分な精度で分かる。

‐個々の遠隔デバイスによって放出される、オンボードセンサの配置および読みに関連する信号を検知するのに適したＲＦ受信器。

‐音響パルスの放出時間と無線周波数信号の受信との間の差から開始して、遠隔デバイス３′，３″，．．．3^{M}の位置を算出するために使用される算出システム。

‐標定問題の行列式に基づいており、所与の基準フレームにおける遠隔デバイス３′，３″，．．．3^{M}の位置を提供するのに適した、無線基地２の算出システムによって実行されるアルゴリズム。

【００２６】

〔位置検知（標定）システムの動作モダリティ〕

第１音響送信器はおそらく符号化パルスを放出し、音響波面は遠隔デバイス３′，３″，．．．3^Mによって占有される空間領域を伝搬してこれらのデバイスに到達する。遠隔デバイスは、オンボードマイクロフォンが波面を検知したときに、ＲＦパルスを放出する。次いで、基地局２は遠隔デバイス３′，３″，．．．3^Mから到達するＲＦ信号を検知し記録する。デバイスはしばらくの間、同一と仮定され、符号化されず、到達時間を推定することが可能である。到達時間はｉ番目の音響源とｊ番目の遠隔デバイスとの間の距離d_{ij}に比例する。

【００２７】

ノイズ（例えば環境による音響反射）が無ければ、受信される信号の数は、充分なエネルギを持つ音響波面が到達した遠隔デバイスの個数に相当する。

【００２８】

最初に伝搬速度が分かっており、時間的に一定であり、かつ関心対象の空間領域全体で同一であると仮定することによって、ｉ番目の源からの放出とｊ番目の遠隔デバイスによる受信との間の飛行時間を測定することで、源と遠隔デバイスとの間の距離を決定することが可能になる。ｉ番目の源による各放出に対し、受信時間に推定音速を乗算した積によって得られる距離の集合から構成される受信ベクトルＤが形成される。リスニング時間窓は、遠隔デバイスの最大有用距離を考慮に入れることによって選択される。一般的に、ノイズの無い状況で、ベクトルD_iは、遠隔デバイス３′，３″，．．．3^Mの個数に対応する最大長Ｍを有する。誤って追加受信信号と解釈されるおそれのある音響または電磁ノイズが存在する場合、受信ベクトルは長さ$L_i > M$を有する。全ての音響源またはブイに対して上記の議論を繰り返すことによって、Ｎ＋１個の受信ベクトルが得られる。

【００２９】

ｊ番目のデバイスの位置$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \ldots x_{Nj})$は、Ｎ＋１個の音響源の位置（$x_{si}, y_{si}, z_{si}$，ここでｉ＝１，２，．．．Ｎ＋１）を中心とする半径d_{ij}のＮ＋１個の球の交点として、Ｎ＋１個の距離$d_{1j}, d_{2j}, \ldots d_{N+1j}$から算出することができる。Ｎ＝３ならば、$x_{1j} = x_j$，$x_{2j} = y_j$，$x_{3j} = z_j$とすると、次のようになる。

【数１】

$$\begin{cases} (x_j - x_{S1})^2 + (y_j - y_{S1})^2 + (z_j - z_{S1})^2 - d_{1j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S2})^2 + (y_j - y_{S2})^2 + (z_j - z_{S2})^2 - d_{2j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S3})^2 + (y_j - y_{S3})^2 + (z_j - z_{S3})^2 - d_{3j}^2 = 0 \\ (x_j - x_{S4})^2 + (y_j - y_{S4})^2 + (z_j - z_{S4})^2 - d_{4j}^2 = 0 \end{cases}. \qquad (1)$$

【００３０】

第１の式を他の式から減算する結果、３つの式および３つの未知数（x_j, y_j, z_j）を持つ線形系が得られ、後者は音響源に対して定義される３次元基準系における遠隔デバイスの座標である。

【数２】

$$\begin{bmatrix} x_{S2} - x_{S1} & y_{S2} - y_{S1} & z_{S2} - z_{S1} \\ x_{S3} - x_{S1} & y_{S3} - y_{S1} & z_{S3} - z_{S1} \\ x_{S4} - x_{S1} & y_{S4} - y_{S1} & z_{S4} - z_{S1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2 - x_{S1}^2 + y_{S2}^2 - y_{S1}^2 + z_{S2}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{2j}^2 \\ x_{S3}^2 - x_{S1}^2 + y_{S3}^2 - y_{S1}^2 + z_{S3}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{3j}^2 \\ x_{S4}^2 - x_{S1}^2 + y_{S4}^2 - y_{S1}^2 + z_{S4}^2 - z_{S1}^2 + d_{1j}^2 - d_{4j}^2 \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

【００３１】

上記式は、次のコンパクトな行列形式

【数３】

$$AX_j = B_j, \qquad (3)$$

に書き換え、次のように解くことができる。

【数４】

$$X_j = A^{-1} B_j \qquad (4).$$

【００３２】

源を適切に配置することによって、行列Ａは可逆であることを示すことが可能である［非特許文献１０］。

【００３３】

ｊ番目の遠隔デバイスの位置X_jはＡから算出することができ、Ａは次に源の既知の位置によって、かつ（Ｎ＋１）個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）から得られる。残念ながら、システムの構造および上記操作のシーケンスのため、各遠隔デバイスｊに対し、（Ｎ＋１）個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）を受信ベクトル（D_1，D_2，．．．D_{N+1}）内で先験的に区別することは不可能である。

【００３４】

したがって、受信ベクトル（D_1，D_2，．．．D_{N+1}）内で可能な候補（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）を選択することを可能にする適切な探索アルゴリズムが必要である。その後、ベクトルX_jは式（４）によって算出される。

【００３５】

次いで、ベクトルX_jは式（１）で計算され、得られた剰余がゼロであるか、または計算全体に影響を及ぼす全ノイズを考慮に入れた所定の閾値未満であることを前提として、標定問題の許容解であるとみなすことができる。

【００３６】

上記ステップは、他の全てのＭ個の遠隔デバイス３′，３″，．．．3^Mの位置が算出されるまで繰り返される。

【００３７】

探索アルゴリズムは、上述の操作において基本的な役割を果たす。実際、適切な戦略が存在しない場合、最悪の場合、および雑音が存在しない場合、式（４）および式（１）でM^{N+1}回の計算を順次実行しなければならず、この回数は非常に高くなり得る。例えばＮ＝３（３Ｄの事例）およびＭ＝１００の場合、計算の回数は１０である。

【００３８】

ノイズ／外乱がある場合、計算の回数は、$L_1 \cdot L_2 \cdot \ldots L_{N+1}$（Ｌｉ＞Ｍ）まで増加する。

【００３９】

次に、計算作業をかなり軽減することを可能にする適切な探索アルゴリズムについて説明する。それは、源が半径r_{max}の球体内に位置し、したがってＮ＋１個の（d_{1j}，d_{2j}，．．．d_{N+1j}）の各要素が相互に２r_{max}より大きく異ならないという考えに基づいている。

【００４０】

アルゴリズムは次のように動作する。

●ベクトルD_iの１つから、例えばベクトルＤ１から、第１要素d_{11}を抽出する。

●残りのベクトルD_i（ｉ＝２，３，．．．Ｎ＋１）から、最大限２r_{max}だけ異なり、したがって可能な候補である全ての要素を抽出する。r_{max}の適正な選択のために、そのような要素の個数はＮ＋１をわずかに超える。

●異なるベクトルの要素間で交換することなく、抽出された要素の全ての組合せを計算し、前記組合せを使用して式（４）から１組のX_jを算出する。

●式（４）による１つの組合せが式（１）でゼロまたは充分に小さい剰余を生じた場合、第１の抽出要素d_{11}は有効な受信信号である。この場合、遠隔デバイスの得られたばかりの座標が格納され、式（１）の解であるベクトルX_jをもたらしたＮ＋１個の要素はそれぞれのベクトルD_iから除去される。

●そうでない場合、組合せはどれも有効な結果を生じず、したがってベクトルＤ１から抽出された第１の要素は有効ではなく、すなわちそれは外乱（ノイズ）に対応すると結論付

けられる。この要素はベクトルD_iから除去される。
●その後、上記のどちらの場合でも、D_1の第１の要素は再び選択され、ベクトルＤ１の要素が無くなるまで、前のステップが繰り返される。
【００４１】
このアルゴリズムの結果、Ｍ個全部の遠隔デバイスの座標が確実に識別される。ベクトルD_i（ｉ≠１）には、受信した外乱に対応するL_i－Ｍ個の残留要素が残る。
【００４２】
提案したシステムは異なるモダリティ、いわゆる「シングルショット」モダリティで動作することもできる。このモダリティでは、音響源はそれらのパルスを同時に放出し、それらは信号の挙動に関係するものについて相互に区別不能にすることができる。これはハードウェアの簡素化を暗示し、全ての音響源に対し同一パルストランスデューサをもたらし、関心対象空間領域でＮ＋１個の伝搬時間ではなく、１つの音響波面伝播時間を待ち受けるだけでよいので、パルスの繰返し周波数およびしたがって位置のリフレッシュ時間に関して有利である。
【００４３】
前のモダリティとの相違は、もはやＮ＋１個の受信ベクトルを区別することができず、１個のベクトルＤだけが存在することにある。その結果、各要素d_{ij}の相対位置またはｉ指数は利用可能なデータ内で決定されないままであるのに対して、前の事例では各要素d_{ij}の指数ｉが固定され明らかになる。したがって、ｊ番目のＮ＋１個に属する要素の探索中に、ベクトルＤから抽出された要素の位置をＮ＋１個の中で交換することも考慮しなければならず、この事実は計算負荷をかなり増大させる。
【００４４】
上述のアルゴリズムは、シングルショットモダリティのシステム動作にも役立つ。
【００４５】
実際、各々が唯一の利用可能なベクトルＤのコピーであるＮ＋１個の同一ベクトルに、アルゴリズムを適用すれば充分である。
【００４６】
〔局所速度の計算〕
温度、湿度、気圧、および特に大気擾乱による音速の変動は無視することができないので、より高レベルの標定精度は、源から単一遠隔デバイスまでの（平均）距離／経路における音速を時折計算することによって達成することができる。この時点で、式（２）はおおまかに次の通り変更される。
【数５】

$$\begin{bmatrix} x_{S2}-x_{S1} & y_{S2}-y_{S1} & z_{S2}-z_{S1} & t_{2j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S3}-x_{S1} & y_{S3}-y_{S1} & z_{S3}-z_{S1} & t_{3j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S4}-x_{S1} & y_{S4}-y_{S1} & z_{S4}-z_{S1} & t_{4j}^2-t_{1j}^2 \\ x_{S5}-x_{S1} & y_{S5}-y_{S1} & z_{S5}-z_{S1} & t_{5j}^2-t_{1j}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{S2}^2-x_{S1}^2+y_{S2}^2-y_{S1}^2+z_{S2}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S3}^2-x_{S1}^2+y_{S3}^2-y_{S1}^2+z_{S3}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S4}^2-x_{S1}^2+y_{S4}^2-y_{S1}^2+z_{S4}^2-z_{S1}^2 \\ x_{S5}^2-x_{S1}^2+y_{S5}^2-y_{S1}^2+z_{S5}^2-z_{S1}^2 \end{bmatrix}, (5)$$

ここでt_{ij}は、ｉ番目の源からｊ番目の遠隔デバイスに向かって放出された波面の到達時間である。ここで、受信ベクトル（T_1，T_2，．．．T_{N+2}）内でＮ＋２個の（t_{ij}，t_{2j}，．．．t_{N+2j}）を考慮する。
【００４７】
解は式（３）および（４）に類似している。必要な源は５または一般的にＮ＋２である。行列Ａは、源から遠隔デバイスまでの経路に沿った平均音速v_jを含むX_jの計算毎に逆転しなければならない。前の事例と同様に、源を適切に配列することによってＡが可逆であることを示すことが可能である。
【００４８】
計算は前の事例と同様に、（D_1，D_2，．．．D_{N+1}）を（T_1，T_2，．．．T_{N+2}）と置換しながら進み、X_jの計算毎に行列Ａを逆転させる必要があるという事実、および源

の数が、例えば３Ｄの場合、４から５に増えるという事実によって複雑化される。

【図１】

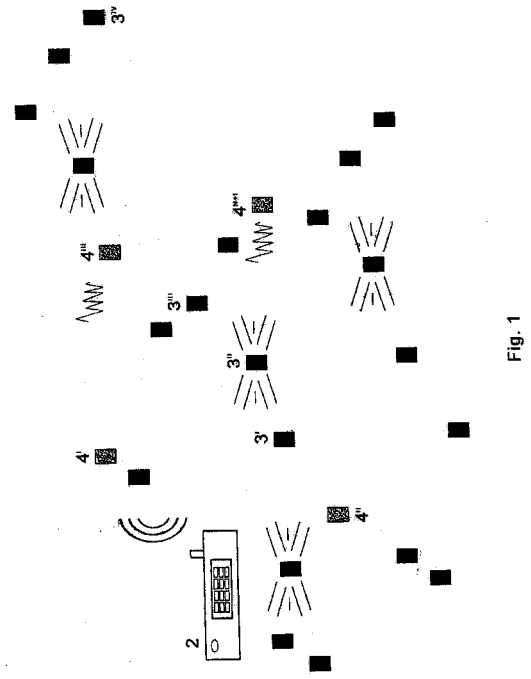


Fig. 1

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IT2007/000830

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S5/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 412 619 A (BAUER WILL [CA]) 2 May 1995 (1995-05-02) abstract; figure 1 column 3, line 36 - line 41 column 6, line 3 - line 6 column 6, line 30 - line 41 column 7, line 26 - line 68	1,6,9,10
Y	US 5 550 726 A (HIROMACHI YOSHIO [JP] ET AL) 27 August 1996 (1996-08-27) abstract; figure 6 column 8, line 66 - column 9, line 44	1,6,9,10

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 March 2008	01/04/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Niemeijer, Reint

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IT2007/000830

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 247 922 A (JACKSON DALE H ET AL) 27 January 1981 (1981-01-27) abstract; figures 1,2,4 column 3, line 46 - line 64 column 4, line 60 - column 5, line 32 column 6, line 33 - line 55	1,9,10
A	US 5 491 670 A (WEBER T JEROME [US]) 13 February 1996 (1996-02-13) abstract figures 1,6C,6D column 7, line 3 - line 55 column 11, line 29 - column 12, line 25	1,9,10

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/IT2007/000830

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5412619 A	02-05-1995	AT 190403 T	15-03-2000
		AU 2107495 A	10-11-1995
		CA 2187026 A1	26-10-1995
		WO 9528651 A1	26-10-1995
		CN 1147302 A	09-04-1997
		DE 69515471 D1	13-04-2000
		DE 69515471 T2	14-09-2000
		DK 755523 T3	14-08-2000
		EP 0755523 A1	29-01-1997
		JP 9512097 T	02-12-1997
US 5550726 A	27-08-1996	DE 69316694 D1	05-03-1998
		DE 69316694 T2	14-05-1998
		EP 0591899 A1	13-04-1994
US 4247922 A	27-01-1981	NONE	
US 5491670 A	13-02-1996	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100117178
弁理士 古澤 寛
(74)代理人 100130650
弁理士 鈴木 泰光
(74)代理人 100135389
弁理士 臼井 尚
(72)発明者 カロテヌート、リカルド
イタリア、Ｉ－００１５２ ローマ、ヴィア パオロ セグネリ、１５

Ｆターム(参考) 5J083 AA03 AC18 AC29 AD01 AD04 AG03 BA01 CA02 CA10 CA11
DB02 DB10