

(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2004-505253
(P2004-505253A)

(43) 公表日 平成16年2月19日(2004.2.19)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 V 3/08	GO 1 V 3/08	2 F 0 6 3
GO 1 B 7/00	GO 1 B 7/00	2 G 0 0 5

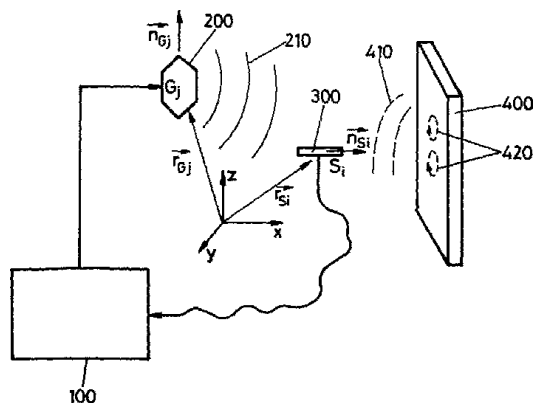
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 55 頁)

(21) 出願番号	特願2002-514433 (P2002-514433)	(71) 出願人	500422687 ノーザン・デジタル・インコーポレイテッド カナダ国オンタリオ、ウォータールー、ランドール ドライブ 103
(86) (22) 出願日	平成13年7月10日 (2001.7.10)	(74) 代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(85) 翻訳文提出日	平成15年1月27日 (2003.1.27)	(74) 代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(86) 国際出願番号	PCT/CH2001/000431	(72) 発明者	ザイラー、パウル ゲー、 スイス国 CH-5232 フィリゲン ハウプトシュトラッセ 39
(87) 国際公開番号	W02002/008793	(72) 発明者	ミュンヒ、ラルフ カー、 スイス国 CH-8108 オーバーフラ ックス ミッテルドルフ 9
(87) 国際公開日	平成14年1月31日 (2002.1.31)		最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	1475/00		
(32) 優先日	平成12年7月26日 (2000.7.26)		
(33) 優先権主張国	スイス (CH)		

(54) 【発明の名称】 センサ要素の位置確定方法

(57) 【要約】

最初にセンサ要素(300)の位置確定方法に関する。このセンサ要素を用いて、少なくとも1つの磁界発生ユニット(200)から放射される交番磁界(210)が測定される。その際にセンサ要素(300)で受信される信号に基づいて、センサ要素(300)の位置が確定される。第1近似で、導電体(400)に生成された誘起電流(420)に基づいて生ずる干渉磁界(410)が計算される。さらに、センサ要素(300)で受信される信号から出発して確定自在である位置は、計算された干渉磁界(410)に基づいて補正される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサ要素 (300) の位置確定方法であって、該センサ要素を用いて、少なくとも 1 つの磁界発生ユニット (200) から放射される交番磁界 (210) が測定され、その際にセンサ要素 (300) で受信される信号に基づいて、センサ要素 (300) の位置が確定される方法において、好適には第 1 近似で、導電体 (400) に生成されたうず電流 (420) に基づいて生ずる干渉磁界 (410) が計算されることと、センサ要素 (300) で受信された信号から出発して確定自在である位置が、計算された干渉磁界 (410) に基づいて補正されることと、を特徴とする方法。

【請求項 2】

導電体 (400) 内のうず電流 (420) は、交番磁界 (210) から出発して計算されることと、干渉磁界 (410) は、計算されたうず電流 (420) から出発して計算されることと、を特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

位置確定をさらに改良するために、少なくとも 1 回のさらなる反復が実行され、その際には導電体 (400) 内の他のうず電流が、計算された干渉磁界 (410) から出発して計算され、ならびに他の干渉磁界が、他のうず電流から出発して計算されることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

導電体 (400) の位置および形が確定されることと、導電体 (400) での抵抗が

$$R = \rho / (h / 2)^2$$

に従って、かつ自己インダクタンスが

$$L = 2W / i^2$$

に従って計算されることと、を特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

自己インダクタンスのさらなる改良のために、さらなる反復が実行され、その際には導電体 (400) 内の他のうず電流が、計算された干渉磁界 (410) から出発して計算され、ならびに他の自己インダクタンスが、他のうず電流から出発して確定されることを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

導電体 (400) の確定と抵抗の確定と導電体 (400) での自己インダクタンスとが、系統的較正の意味で事前に、すなわち、交番磁界 (210) を考慮する計算の前に確定されることを特徴とする請求項 4 および 5 に記載の方法。

【請求項 7】

うず電流の確定のために、次のように進行されることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

- ・導電体 (400) は、各セグメント (S_i) および各支持点 (P_i) に分割される。
- ・各支持点 (P_i) では、電流密度 (i_i) が確定される。
- ・うず電流 (I_{ij}) から電流密度 (i_i) が確定される。

【請求項 8】

「サイバースペース」利用における磁界的位置測定のための、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の方法の利用。

【請求項 9】

少なくとも 1 つの磁界発生ユニット (200) と少なくとも 1 つのセンサ要素 (300) と処理・制御ユニット (100) とが設けられており、磁界発生ユニット (200) およびセンサ要素 (300) は、処理・制御ユニット (100) と接続されていることを特徴とする、請求項 1 乃至 7 に記載の方法を実行する装置。

【請求項 10】

少なくとも 1 つの導電体が、磁界発生ユニット (200) を遮蔽するために設けられていることを特徴とする請求項 9 に記載の装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 1】

デジタルコンピュータの内部記憶器にロード可能でありかつソフトウェアコード部分を包含するコンピュータプログラム生成物であって、ソフトウェアコード部分によって、コンピュータプログラム生成物がコンピュータ上で走行する場合に、請求項 1 乃至 6 に記載の各工程が実行されるコンピュータプログラム生成物。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、請求項 1 の前提部分に従った方法、該方法の利用、該方法を実行する装置ならびにコンピュータプログラム生成物に関する。

【0002】

多数の技術的および医学的方法において、特定対象物の位置の正確な知識は、決定的に重要である。また医学においては、個々の組織部分の位置、例えば破壊のためまたは成長抑制のために照射すべき腫瘍の位置を確定しなければならないので、コンピュータシステム、例えば「サイバースペース」利用の場合にコンピュータシステムへ入力するための位置検知は、一般的に重要である。そのような位置検知ユニットもしくは位置入力ユニットは、この応用分野において例えば三次元マウスとも呼ばれる。

【0003】

位置確定用の公知装置もしくは公知方法は、同じ出願人の P C T 国際公開番号第 W O 9 7 / 3 6 1 9 2 号の国際特許出願において記載されている。この公知技術による教示によれば、磁界発生ユニットを用いた交番磁界を形成するようになっている。その際に、位置確定されるべきセンサ要素の自由度の数に応じて、複数の交番磁界が互いに重ねられる。一方で磁界発生ユニットを制御し他方でセンサ要素によって受信された信号を処理する処理・制御ユニットを用いて、センサユニットの位置および場合によってはその姿勢が測定される。これに関して上記公開明細書の内容は、本明細書の不可欠な構成部分を形成する。

【0004】

例えば W O 9 7 / 3 6 1 9 2 による公知の教示で利用されるように、磁界に基づいた位置測定において、隣り合った導電体にうず電流が発生することは明らかになっている。これによって、本来の交番磁界のひずみが生じ、したがって系統的誤差が生ずる。すなわち、センサ要素の位置および方位は、ひずんだ交番磁界内で導電体が存在しないかのように確定される場合に、得られた値は、系統的に誤っている。

【0005】

導電体によって引き起こされる干渉効果の補正方法は、「ひずみマッピング」の名によって知られている。この方法は、例えば「外科的環境における追跡システムの較正」の表題を有する論文 (B i r k e f e l l n e r 外、 I E E E T r a n s M e d I m a z i n g 誌、17(5)号、737~742頁、1998年) に記載される。公知の方法において、センサ要素の位置および方位は、同様に磁界依存位置測定に基づいた位置測定システムを用いて求められる。その際に干渉効果を補正するために、導電体によって影響されない第 2 位置測定システムが設けられている。両位置測定システムによって求められた各位置および各方位の間の差は、磁界に基づいた位置測定システムを用いて確定された位置および方位の補正のために引き続き使用される。しかしながら公知の方法は、高精度を得るために可能な限り多数の点で位置および方位の差を測定しなければならないという欠点を有する。さらに他の各点を得るためには、手間のかかる補間方法を追加的に利用しなければならない。非常に手間のかかることは、特に次の例によって明白になる： 1 m^2 の体積を測定すべき場合には (これは、3 軸線において 10 cm ごとに、かつ 10 の異なる方位角度で行われるべきである)、1 万点が得られる。さらに前述の第 2 位置測定システムが必要である。

【0006】

さらに他の干渉効果の補正方法が公知であり、この方法において、磁界は、パルス直流電界によって生成される。その際にうず電流効果の補正は、測定信号に含まれるうず電流割合の減衰後に磁界測定が初めて実施されることによって行われる。公知方法に関する他の

10

20

30

40

50

説明は、米国特許明細書第5453686号および米国特許明細書第5767669号から得られる。ここで明らかにされるのは、求められた結果の精度が不十分なことである。特に補正が不完全であるのは、うず電流割合の減衰時間が、2つの直流電流パルス間のパルス時間を超える場合である。これは、パルス時間の延長によって対処可能であるが、しかしながらその結果として、望ましくない比較的わずかな測定値が得られるに過ぎない。さらに公知の補正方法は、磁氣的位置測定に基づいた、交番磁界を生成する位置測定システム類の場合には適用されない。

【0007】

したがって本発明の課題は、センサ要素の位置および姿勢、あるいは少なくともそのいずれか一方の改良された確定を可能にする方法を提供することである。

10

この課題は、請求項1の特徴部分に挙げた措置によって解決される。本発明の好適な諸態様、方法の利用、方法を実行する装置ならびにコンピュータプログラム生成物は、他の請求項において述べられる。

【0008】

本発明による方法によって、導電体の影響を排除すること、あるいは少なくとも大幅に低減することが可能となる。さらにこの方法は、公知の諸方法よりも一般的かつ正確である。最後に計算の幾何学的依存部分は、系統的較正の意味で本来の位置測定システム使用の前に行うことができる。

【0009】

次に図面を参照し、例を挙げて本発明をさらに詳しく説明する。

20

図1は、磁界発生ユニット200とセンサ要素300と処理・制御ユニット100とから成る公知のシステムを示している。処理・制御ユニット100は、それぞれ導線を介して、一方では磁界発生ユニット200と、他方ではセンサ要素300と接続されている。磁界発生ユニット200は、好適には、既知の場所(すなわち、方位を含む座標 x, y, z が、座標系において既知であること)に配置されている一方で、センサ要素300は、任意に可動、すなわち任意の位置および方位をとることができる。また指摘されるのは、すでにPCT国際公開番号第W097/36192号から公知であるように、センサ要素300が固定されかつ磁界発生ユニット200が自由、すなわち処理・制御ユニット100への利用可能接続導線の範囲内で可動であることが考えられるということである。さらにまた容易に考えられるのは、処理・制御ユニット100が、複数の機能ユニットにおいて

30

【0010】

符号400によって概略図で示しているのは、センサ要素300の磁氣的位置測定を妨げる物体を代表する導電体である。その際に導電体400には、うず電流420が生成され、このうず電流によって、交番磁界210に重ね合わされた干渉磁界410が生ずる。

40

【0011】

本発明による方法を詳しく説明する前に、次にまず磁界に基づいた位置測定における一般的な関係および方法を述べる。

すでに述べたように、例えば磁氣的位置測定とも呼ばれる、磁界に基づいた位置測定においては、位置および方位、あるいは少なくともそのいずれか一方が、1つまたは複数のセンサ要素300によって、1つまたは複数の磁界発生ユニット200に対し相対的に測定される。センサ要素 S_i の位置

【0012】**【数1】**

$$\vec{r}_{S_i}$$

および方位

【 0 0 1 3 】

【 数 2 】

$$\vec{n}_{S_i}$$

は、磁界発生ユニット G_i の位置

【 0 0 1 4 】

【 数 3 】

$$\vec{r}_{G_j}$$

および方位

【 0 0 1 5 】

【 数 4 】

$$\vec{n}_{G_j}$$

が既知であると仮定すれば、次の連立方程式の解によって算定可能である。

【 0 0 1 6 】

【 数 5 】

$$F_{ij} = F(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}, \vec{r}_{G_j}, \vec{n}_{G_j})$$

符号 i は、 i 番目のセンサ要素を意味し、そして j は、 j 番目の磁界発生ユニットを意味する。その際に F は、磁界

【 0 0 1 7 】

【 数 6 】

$$\vec{B}(x, y, z, t)$$

の一般的に 1 つの成分の磁界依存測定関数（例えば、センサコイルの誘導電圧）である。 F は、当然ながら、複数のまたはすべての成分を同時に測定する、センサ要素と一緒に取り付けられた多数のセンサの関数であってもよい。

【 0 0 1 8 】

この連立方程式の解の方法によって、磁氣的位置連立方程式は、2 つに分類することができる。

I . 連立方程式が反転される。すなわち、センサ要素位置は、測定された磁界から計算可能である。

【 0 0 1 9 】

【 数 7 】

$$\vec{r}_{S_i} = f_r(F_{ij}) \text{ 及び } \vec{n}_{S_i} = f_n(F_{ij}) \quad (2)$$

10

20

30

40

50

連立方程式の反転は、非常に特殊な場合にのみ可能であるので、近似によって磁界方程式を1つの反転自在形式にする試みが可能である。

【0020】

II. 連立方程式の解が、最適化によって得られる。すなわち、センサ要素位置は、数式5に従って計算された値 F_{ij} が測定値 F_{ij}^M と最も良く一致するまでの間、変えられる。1つの可能な方法は、Levenberg-Marquardt法によるカイ二乗合致であろう。その際にセンサ位置

【0021】

【数1】

$$\vec{r}_{S_i}$$

10

および

【0022】

【数2】

$$\vec{n}_{S_i}$$

20

は、次式が最小になるまでの間、変えられる。

【0023】

【数8】

$$Chi^2(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}) = \sum_j \frac{(F_{ij} - F_{ij}^M)^2}{(\Delta F_{ij}^M)^2}$$

Levenberg-marquardt法に関してさらに詳しくは、「Cにおける数値処方」(W.H.Press, S.A.Teukosky, W.T.Vetters, G. J. Press, B.P.Flannery: Cambridge University Press: 1994年)の表題を有する刊行物が代表的に指摘される。

30

【0024】

また双方の解定式化の組み合わせも可能である。

センサ要素 S_i によって測定された量 F_{ij} は、センサ要素 S_i および磁界発生ユニット G_i の相対位置によってのみ決まるので、センサ要素および磁界発生ユニットの役割は、すべての磁気的位置測定システムにおいて交換自在である。

【0025】

時間的に変化する磁界が利用される場合には、この磁界は、すでに述べたように、隣り合った導電体400にうず電流420を生成する。これによって、本来の交番磁界210のひずみが生じ、したがって位置確定における系統的誤差が生ずる。すなわち、センサ要素の位置および方位が、ひずんだ交番磁界内で、導電体400が存在しないかのように確定されるならば、得られた値は、系統的に誤っている。

40

【0026】

導電体400が近くにある場合でもこの導電体によって引き起こされる誤差を排除して磁気的位置測定方法を利用可能にするために、本発明によれば、交番磁界ひずみならびにセンサ要素位置およびセンサ要素方位の測定に及ぼすその影響が確定される。それによって、発生する系統的誤差が補正可能であり、したがって位置および方位、あるいはその少なくともいずれか一方の精度が大幅に改良可能である。

50

【 0 0 2 7 】

この測定システムにおいて確認されたのは、4 c mの測定誤差が、本発明による方法によって1 . 5 m m未満へ低減できたことである。

これらの補正は、基本的に有限要素技術および電気力学方程式を用いても得られる。本発明による方法の好適な実施形態は、有限要素法よりもさらに位置計算の大幅な低減が達成されたことによって優れている。その理由は、系統的較正の意味で多くが事前に計算できるからである。

【 0 0 2 8 】

次に本発明による方法を説明する。その際に説明を簡単にするために、まず導電体4 0 0が、導電板から、すなわち平らなかつ限定された面から成っていることから出発する。磁界発生ユニット2 0 0から導電体4 0 0への仮想線の方向で関連展開(深さ)を有する導電体4 0 0は、同様に本発明による方法によって扱うことができる。この目的のために、磁界発生ユニット2 0 0に対向した側は、多面構造によって近似される。これが許容されるのは、うず電流4 2 0が表面内にわずかに侵入するに過ぎないからである。それゆえ三次元導電体4 0 0の深さは重要でない。したがって干渉磁界4 1 0の数学的算定において、導電体4 0 0は、多面構造によって前述の意味で近似される。

10

【 0 0 2 9 】

次に導電板における磁界ひずみの計算に関する考察を述べる。これから得られる結果は、同様により一般的な導電体形状の場合に使用可能である。

導電体4 0 0が、時間的に変化する磁界

20

【 0 0 3 0 】

【 数 9 】

$$\bar{B}_0(x, y, z, t)$$

内にある場合に、うず電流4 1 0 (図 1) は、導電体4 0 0の表面に誘導される。このうず電流4 1 0は、他の磁界

【 0 0 3 1 】

【 数 1 0 】

$$\bar{B}'(x, y, z, t)$$

30

を引き起こす。この磁界は、本来の磁界

【 0 0 3 2 】

【 数 9 】

$$\bar{B}_0(x, y, z, t)$$

40

に重ね合わされており、これによって合成磁界

【 0 0 3 3 】

【 数 1 1 】

$$\bar{B}_{Res}(x, y, z, t)$$

が生ずる。

【 0 0 3 4 】

さて、

50

【数 1 1】

$$\vec{B}_{Res}(x, y, z, t)$$

は磁界

【0 0 3 5】

【数 9】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

10

に対してひずんでいる。このひずんだ磁界を計算可能にするためには、誘導交番磁界

【0 0 3 6】

【数 1 0】

$$\vec{B}'(x, y, z, t)$$

を求めることが必要である。電気力学のビオ・サバルの法則

【0 0 3 7】

【数 1 3】

20

$$B_1(\vec{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t)}{4\pi} \frac{\Delta \vec{s}(t) \times \vec{r}}{r^3} \quad (4)$$

からは、磁界

【0 0 3 8】

【数 1 2】

30

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

【0 0 3 9】

が計算される。この磁界は、導電体 4 0 0 のうず電流 4 1 0 の局所的および時間的経過が、N 個の異なる点状電流要素において既知である場合に、十分良好に

【数 1 0】

40

$$\vec{B}'(x, y, z, t)$$

を記述する。

【0 0 4 0】

【数 1 3】

$$B_1(\vec{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t) \Delta \vec{s}(t) \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (4)$$

ここで

【 0 0 4 1 】

【 数 1 4 】

$$\vec{P}_R = (x, y, z)$$

10

は、空間における 1 つの点であり、ベクトル

【 0 0 4 2 】

【 数 1 5 】

$$\vec{r}$$

20

は電流要素から点

【 0 0 4 3 】

【 数 1 6 】

$$\vec{P}_R$$

までを示す。前因数は、必要な場合には導入可能であり、ならびに因数

【 0 0 4 4 】

【 数 1 7 】

30

$$\Delta \vec{s}(t)$$

の量で含有可能であるか、あるいは少なくともそのいずれか一方である。点電流に代わる縦方向電流または面電流等の導入による

【 0 0 4 5 】

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

40

の詳細な計算は可能である。しかしこれによって、式 4 の記述は変えられるであろう。これに反して殆どの場合に

【 0 0 4 6 】

【 数 1 3 】

$$B_1(\vec{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t) \Delta \vec{s}(t) \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (4)$$

はNが十分に大きく選択されるならば、上述のように引き継ぎ可能である。

したがって、磁界ひずみは2つのステップで計算される。第1ステップは、うず電流410の算定であり、第2ステップは、うず電流410によって生成された干渉磁界

【0047】

10

【数12】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

の計算である。この干渉磁界は、十分良好に干渉磁界

【0048】

【数10】

20

$$\vec{B}'(x, y, z, t)$$

を記述する。

図2は、干渉磁界410を確定するために多数の任意セグメントから成る多面構造に分割された導電体400を示す。この分割および他の様々な仮定から出発して、最初にうず電流が計算される。

【0049】

うず電流は、導電体400の表面で理論にとって「非本質的な」侵入深さで流れる。上述の干渉磁界

【0050】

30

【数10】

$$\vec{B}'(x, y, z, t)$$

を十分正確に計算するためには、導電体400の表面上での幾つかの点における時間的電流経過を知るだけでよい。点の数は、要求される精度によって決まる。したがってうず電流は、導電体の表面上にまたはその近くに配置された各点において計算される。

【0051】

第1ステップでは、導電体が、N個の任意形成されたセグメントに分割される。これらのセグメントは、有効的に（しかし必須的ではなく）導電体の全体にわたっている。これらのセグメントには、次に明確な区別のために

40

【0052】

【数18】

$$\vec{i}_i(t)$$

が標示される。その際にiは、指標として使用される。

第2ステップでは、セグメントあたりの支持点P_iが選択される。しかしセグメントと同じ多数の支持点を規定してこれらを明確にセグメントに割り当てることは有効であるが、しかし必須ではない。次に説明を簡単にするために、それぞれ1つの明確に割り当てられ

50

た支持点 P i を備えた N 個のセグメント S i が規定されることから出発する。各セグメント S i の支持点 P i における電流密度

【 0 0 5 3 】

【 数 1 9 】

$$\vec{i}_i(t)$$

は、次式を用いて計算される。

【 0 0 5 4 】

【 数 2 0 】

$$\vec{i}_i(t) = \sum_{j=0}^N \vec{i}_{ij}(t) \text{ mit } j \triangleleft i \quad (5)$$

10

ここで

【 0 0 5 5 】

【 数 2 1 】

$$\vec{i}_{ij}(t)$$

20

【 0 0 5 6 】

は、うず電流 I i j (t) の電流密度である。この電流密度は、

【 数 9 】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

の磁界の磁束変化によってセグメント S i に引き起こされ、支持点 P i を通ってまたは支持点 P i の周囲で流れる。個々のうず電流 I i j (t)

の計算は、次の部分で述べる。最初に次式が成り立つ。

30

【 0 0 5 7 】

【 数 2 2 】

$$\vec{i}_{ij}(t) = \frac{\vec{\lambda}_{ij}(t)}{A_s} \quad (5a)$$

ここで

【 0 0 5 8 】

【 数 2 3 】

40

$$\vec{\lambda}$$

は、支持点 P i において支持点 P i を通る電流線の方向ベクトル（またはこれに対して殆ど共直線方向）であり、A s は、電流線の横断面積である。その際に次式が成り立つ。

【 0 0 5 9 】

【 数 2 4 】

ここで r = 円形断面積の半径、h = 侵入深さ、を示す。

電流密度

50

【 0 0 6 0 】

【 数 1 9 】

$$\vec{i}_i(t)$$

【 0 0 6 1 】

が既知である場合には、

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

10

によって引き起こされた干渉磁界として

【 0 0 6 2 】

【 数 9 】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

も計算自在であり、さらに加えて

【 0 0 6 3 】

【 数 1 9 】

20

$$\vec{i}_i(t)$$

が、直接的に

【 0 0 6 4 】

【 数 1 3 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

30

へ代入可能である。

【 0 0 6 5 】

その際に $A(S_i)$ は、セグメント S_i の面積である。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

は、殆どの場合に

【 0 0 6 7 】

【 数 1 2 】

40

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

とみなすことができる。第 2 位数の結果として、この項の代わりに

【 0 0 6 8 】

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

50

が、さらに第 2 干渉磁界

【 0 0 6 9 】

【 数 2 5 】

$$\vec{B}_2(x, y, z, t)$$

【 0 0 7 0 】

に対するうず電流を計算するために原磁界として代入可能である（うず電流の相互影響）。第 2 干渉磁界は、

【 数 9 】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

および

【 0 0 7 1 】

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

と重ね合わされている。したがって第 2 近似において

【 0 0 7 2 】

【 数 6 】

$$\vec{B}(x, y, z, t)$$

は

【 数 1 2 】

$$\vec{B}_1(x, y, z, t)$$

と

【 数 2 5 】

$$\vec{B}_2(x, y, z, t)$$

との和に等しいであろう。この反復方法は、任意位数の結果に対して継続可能である。しかしながら殆どの利用において、第 1 位数の結果は、十分に正確である。

【 0 0 7 3 】

個々のうず電流 $I_{ij}(t)$ は、支持点 P_i を通って流れしかも支持点 P_i を通る磁界の時間的磁束変化によって引き起こされる電流線である。 $I_{ij}(t)$ を計算するためには、自己インダクタンス L_{ij} と、そのオーム抵抗 R_{ij} と、時間的磁束変化

【 0 0 7 4 】

【 数 2 6 】

$$\frac{d\Phi_j}{dt}$$

とが必要である。これらの量が既知である場合には、 $I_{ij}(t)$ は、次の微分方程式の解によって与えられる。

【 0 0 7 5 】

【 数 2 7 】

10

20

30

40

50

$$\frac{d\Phi_j}{dt} - L_{ij} \frac{dI_{ij}(t)}{dt} - R_{ij} I_{ij}(t) = 0 \quad (6)$$

【数 9】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

は、多くの場合に時間周期的であるかまたはさらに調波的に振動するであろう。しかしこれは、本発明による方法の有効性にとってなんら必要性はない。

10

【0076】

自己インダクタンス L_{ij} およびオーム抵抗 R_{ij} は、うず電流 $I_{ij}(t)$ の幾何学的形状によって与えられており、磁束変化

【0077】

【数 26】

$$\vec{B}_2(x, y, z, t)$$

は、セグメント S_i の面積とともに位置 P_i での磁界

【0078】

20

【数 9】

$$\vec{B}_0(x, y, z, t)$$

によって与えられている。続く各ステップでは、最初にうず電流の形が記載され、引き続いてこれから自己インダクタンス L_{ij} およびオーム抵抗 R_{ij} が計算される。

【0079】

個々の磁界線 B が、点 P 周りの小さな面積 dA を通って導電体上で侵入するとしよう。この場合に、誘導電流線は、点 P の近くで円形であろうし、導電体 400 の縁部では、境界に従うであろう。すなわち、導電体の周囲縁形状を有するであろう。任意うず電流の形は、次の電位方程式を満足する面の等高線に沿った電流である。

30

【0080】

【数 28】

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

ここで (x, y) は、電位を表わす。

【0081】

【数 28】

40

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

の明確な解に対する境界条件 ((x, y) を求めること) は、図 2 から明らかになる (すなわち、導電体縁部の 0 および点 P_j における $1, 0 < > 1$)。この電位方程式は、数値的に最良に解くことができる。うず電流の形および材料への電流の侵入深さ h によって、個々の電流線は、侵入深さの直径を有する環状材料横断面を備えた導線ループとみなすことができる (他の有効な材料横断面形状は、当然ながら考えられるが、計算において何も本質的に変わるものではない)。

50

【 0 0 8 2 】

したがって、導線ループのオーム抵抗は、次式によって与えられる。

【 0 0 8 3 】

【 数 2 9 】

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi} \quad (8)$$

ここで R = オーム抵抗 ()

l = 導線ループの長さ (m)

h = 電流の侵入深さ (m)

= 材料の固有電気抵抗 (m)

導線ループの自己インダクタンスは、次式によって与えられる。

【 0 0 8 4 】

【 数 3 0 】

$$L = \frac{2W}{i^2} \quad (9)$$

さらに数値的に次のように計算可能である

【 0 0 8 5 】

【 数 3 1 】

$$W = \int_{\text{Raum}} \frac{\bar{B}^2}{2\mu_0} dV \quad (10)$$

【 0 0 8 6 】

その際に蓄えられたエネルギーは電流 i が導線内で流れる場合に、導線によって生成される磁界内にある。存在する「任意的に」多くの他の近似式は、

【 数 2 9 】

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi} \quad (8)$$

【 0 0 8 7 】

【 数 3 0 】

$$L = \frac{2W}{i^2} \quad (9)$$

および

【 0 0 8 8 】

【 数 3 1 】

10

20

30

40

$$W = \int_{\text{Raum}} \frac{\bar{B}^2}{2\mu_0} dV \quad (10)$$

に代入可能であるとともに、類似の結果をもたらす。

磁束 $j(t)$ の計算に関しては、磁界

【 0 0 8 9 】

【 数 9 】

$$\bar{B}_0(x, y, z, t)$$

10

から次式が有効である。

【 0 0 9 0 】

【 数 3 2 】

$$\Phi_j(t) = \bar{B}_0(x, y, z, t) \cdot \bar{A}_j \quad (11)$$

【 0 0 9 1 】

ここで、

【 数 9 】

$$\bar{B}_0(x, y, z, t)$$

20

【 0 0 9 2 】

は箇所 P_j における干渉されていない磁界であり、

【 数 3 4 】

$$\Phi_j(t) = \int \bar{B}_0(x, y, z, t) d\bar{A} \quad (11a)$$

30

は、セグメント S_j の面法線であるとともに、当該セグメントの面積値を備えている。式

【 0 0 9 3 】

【 数 3 2 】

$$\Phi_j(t) = \bar{B}_0(x, y, z, t) \cdot \bar{A}_j \quad (11)$$

は、次の一般的に有効な式に対する近似式であり、 B が A_j にわたって十分に均等である場合に（したがって、例えば小さな面積 A_j に対して）、適用することができる。

【 0 0 9 4 】

【 数 3 4 】

$$\Phi_j(t) = \int \bar{B}_0(x, y, z, t) d\bar{A} \quad (11a)$$

40

この箇所述べるべきなのは、セグメント S_j の面積 A_j が、必ずしも完全に導線ループ $I_{ij}(t)$ 内にあるわけではないということである。これに関して補正可能であるが、普通には不必要である。

【 0 0 9 5 】

自己インダクタンス L_{ij} 及びオーム抵抗 R_{ij} の部分的集中計算は、式

【 0 0 9 6 】

【 数 2 9 】

50

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi} \quad (8)$$

【 0 0 9 7 】

【 数 3 0 】

$$L = \frac{2W}{i^2} \quad (9)$$

10

および

【 0 0 9 8 】

【 数 3 1 】

$$W = \int_{\text{Raum}} \frac{\bar{B}^2}{2\mu_0} dV \quad (10)$$

20

を用いて事前に計算可能である。なぜならば、これらは導電体の寸法形状及び材料のみによって左右されるからである（これは、系統的較正の意味である）。

【 0 0 9 9 】

【 数 1 2 】

$$\bar{B}_1(x, y, z, t)$$

を計算するための式

【 0 1 0 0 】

【 数 1 3 】

30

$$B_1(\bar{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t) \Delta \bar{s}(t) \times \bar{r}}{4\pi r^3} \quad (4)$$

および

【 0 1 0 1 】

【 数 2 0 】

$$\vec{i}_i(t) = \sum_{j=0}^N \vec{i}_{ij}(t) + j \diamond i \quad (5)$$

40

の使用および解は、他の時点で、特に付勢磁界

【 0 1 0 2 】

【 数 9 】

$$\bar{B}_0(x, y, z, t)$$

が既知である場合に行うことができる。例えば、磁界

【 0 1 0 3 】

50

【数 2 5】

$$\tilde{B}_2(x, y, z, t)$$

を計算するための磁界

【0 1 0 4】

【数 1 2】

$$\tilde{B}_1(x, y, z, t)$$

の使用といったような反復は可能である。しかしそのような反復は、それらを自己インダクタンス L_{ij} に含めることによって事前に行うことができる。だがこれは、高位数の補正が規則的に必要とされる場合に初めて意味を成す。

【0 1 0 5】

実際には磁気的位置測定において、1つまたは複数のセンサ要素 300 (図 1) の位置および方位は、1つまたは複数の磁界発生ユニット 200 によって生成される磁界内で確定される。使用される座標系では、1つまたは複数の磁界発生ユニット 200 の位置が既知である。交番磁界の場合には、隣り合った導電体 400 が、導電体 400 内で誘導されるうず電流 420 によって磁界ひずみを生成する。理論的基本原理を上述した本発明によるこのひずみの補正方法は、次のように利用される。上述した座標系における導電体 400 の位置は、既知であるか、または測定によって確定される。導電体座標は、うず電流 420 とその結果生ずる磁界ひずみとの計算のために利用されるコンピュータプログラム内で入力されるが、その際には上述の各式において使用された位置座標が、磁界発生ユニット 200 によって規定された座標系において規定されているようにして入力される。こうしてコンピュータプログラムを用いて、うず電流 420 によって生成された干渉磁界が計算される。うず電流 420 を考慮した場合に、連立方程式 1 は、次のように変化する。

【0 1 0 6】

【数 3 5】

$$F_{ij} = F(\vec{r}_s, \vec{n}_s, \vec{r}_G, \vec{n}_G) + \sum_{k=1}^P F_k(\vec{r}_s, \vec{n}_s, \vec{r}_G, \vec{n}_G) \quad (12)$$

ここで F_{ij} は、導電体 k のうず電流 420 によって生成された干渉を表わす。 P は、導電体の数である。この補正がどのように利用されるかは、磁気的位置測定システムの種類によって決まる。

【0 1 0 7】

I . 式

【数 7】

$$\vec{r}_{s_i} = f_r(F_{ij}) \text{ 及び } \vec{n}_{s_i} = f_n(F_{ij}) \quad (2)$$

に基づくシステム類においては、測定値が反復的に補正される。すなわち、最初に式 2 に従って、干渉されていない解が計算される。見いだされたセンサ要素 300 の位置によって、補正項 F' が計算可能であり、そして測定値 F_{ij}^M から減算可能である。補正された測定値によって、再び位置が計算される。このアルゴリズムは、計算された位置の変動が一定許容閾値以下になるまで継続される。

【0 1 0 8】

II . 式

【数 8】

$$Chi^2(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}) = \sum_j \frac{(F_{ij} - F_{ij}^M)^2}{(\Delta F_{ij}^M)^2} \quad (3)$$

に基づくシステム類においては、解アルゴリズムを変えなくてもよい。カイ二乗和において、式

【数 7】

$$\vec{r}_{S_i} = f_r(F_{ij}) \text{ 及び } \vec{n}_{S_i} = f_n(F_{ij}) \quad (2)$$

に従ったうず電流の無い磁界 F_{ij} の計算モデルの代わりに、式

【数 3 5】

$$F_{ij} = F(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}, \vec{r}_{G_j}, \vec{n}_{G_j}) + \sum_{k=1}^P F_k(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}, \vec{r}_{G_j}, \vec{n}_{G_j}) \quad (12)$$

に従ったうず電流補正した磁界が利用される。

【0 1 0 9】

III. 所定前提条件下では、式

【数 3 5】

$$F_{ij} = F(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}, \vec{r}_{G_j}, \vec{n}_{G_j}) + \sum_{k=1}^P F_k(\vec{r}_{S_i}, \vec{n}_{S_i}, \vec{r}_{G_j}, \vec{n}_{G_j}) \quad (12)$$

を反転することも可能であり、その場合にはこれによって、式

【数 7】

$$\vec{r}_{S_i} = f_r(F_{ij}) \text{ 及び } \vec{n}_{S_i} = f_n(F_{ij}) \quad (2)$$

と同様の解が得られる。

【0 1 1 0】

図 3 は、本発明による方法に従って作動するコンピュータプログラムの構造図を概略的に示す。個々の処理ステップは、すでに図 1 および 2 を用いて詳細に説明した。

【0 1 1 1】

本発明による方法は、特に開口部（穴）を備えた導電体にとっても利用可能であり、ここで開口部の数 L は、任意であってもよい。その際にすでに述べた解決方法の場合には、まず開口部の縁部での電位方程式

【0 1 1 2】

【数 2 8】

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

の境界条件が、導電体の縁部での電位 0 と同じでなければならない。なおかつ上述方法に対して、さらに N の L 倍（ $N =$ 支持点の数および $L =$ 開口部の数）の電流線 I_{ik} が加えられる。これらの電流線は、和

【0 1 1 3】

【数 2 0】

$$\vec{i}_i(t) = \sum_{j=0}^N \vec{i}_j(t) + j \diamond i \quad (5)$$

10

20

30

40

50

においてなお加えられる（ k は、1から L まで変化する）。

追加うず電流線 I_{ik} は、うず電流線 I_{ij} と同様に個々に計算自在である。すなわち、電流の形に対する電位方程式

【0114】

【数28】

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

の解ならびに式

【数29】

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi} \quad (8)$$

および

【数30】

$$L = \frac{2W}{i^2} \quad (9)$$

に従った自己インダクタンスおよび抵抗の計算である。しかしながら、電位方程式

【数28】

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

において注意すべきなのは、境界条件の内容が「点 P_j における Φ_j 」ではなく、「開口部 k の縁部における Φ_k 」であることである。開口部が大きければ、場合によっては近似式

【数32】

$$\Phi_j(t) = \vec{B}_0(x, y, z, t) \cdot \vec{A}_j \quad (11)$$

の代わりに、磁束計算用の式

【数34】

$$\Phi_j(t) = \int \vec{B}_0(x, y, z, t) d\vec{A} \quad (11a)$$

が用いられる。

【0115】

個々の導線ループは、この方法によっても計算可能である。なぜならば、先に述べた開口部が、計算すべき導体の周囲縁部の近くに任意に拡張可能だからである。最も簡単な例は、殆ど同じ大きさの開口部を備えた円盤とみなされ得る円環である。この例では、電流線 I_{ij} が無視できる（支持点は、省略可能である）とともに、唯一の I_{ik} が存在するのみであり、その形は、円環によって与えられている。支持点が省略される場合に、磁界 B_1 は、

【数13】

10

20

30

40

$$B_1(\vec{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t) \Delta \vec{s}(t) \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (4)$$

に関する線積分によって算定される。

他の態様は、磁界発生ユニットと導電体との間に導電板を設けることによって、未知導電体の干渉影響が遮蔽されるようになっている。その際に導電板の大きさおよび形ならびにその位置は既知である。それゆえこの板の磁界ひずみは考慮しなければならないが、しかしながら磁界発生ユニットに関して板の他方側にある他のすべての導電体は、遮蔽されるので考慮しなくてもよい。

10

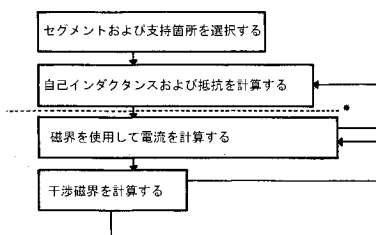
【図面の簡単な説明】

【図 1】導電体を備えた、磁界発生ユニットとセンサ要素と処理・制御ユニットとから成る公知システムを示す概略図。

【図 2】導電体を示す説明図。

【図 3】本発明による方法を説明するフローチャート。

【図 3】



【国際公開パンフレット】

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Januar 2002 (31.01.2002)

PCT

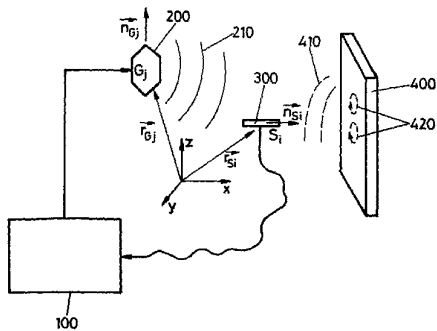
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/08793 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: G01V 3/08, A61B 5/06, G01B 7/004
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH01/00431
- (22) Internationales Anmeldedatum: 10. Juli 2001 (10.07.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 26. Juli 2000 (26.07.2000) CH 1475/00
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MEDNETIX AG (CH/CH), Schösslistrasse 12, CH-5408 Ennetbaden (CH).
- (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SEILER, Paul, G. (DE/CH); Hauptstrasse 39, CH-5234 Villingen (CH). MÜNCH, Ralph, K. (CH/CH); Münkeldorf 9, CH-8108 Oberflachs (CH). KIRSCH, Stefan (DE/DE); Steinatalstrasse 3, 79787 Lauchringen (DE).
- (74) Anwalt: RIGLING, Peter; Patentanwaltsbüro, Troesch Scheidegger Wemer AG, Schwänthenos 14, CH-8126 Zollikon (CH).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING THE POSITION OF A SENSOR ELEMENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER POSITION EINES SENSORELEMENTES



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the position of a sensor element (300), according to which a magnetic alternating field (210) emitted by at least one field generating unit (200) is measured. The position of the sensor element (300) is determined on the basis of a signal received in the sensor element (300). The inventive method is further characterized in that interference fields (410) are calculated, preferably to a first approximation, said interference fields being caused by eddy currents (420) produced in electrically conductive objects (400). The position that can be determined on the basis of the signal received in the sensor element (300) is corrected on the basis of the calculated interference fields (410).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/08793 A1

WO 02/08793 A1



SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU,
ZA, ZW.

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchebericht

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft zunächst ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Sensorelementes (300), mit Hilfe dessen ein von mindestens einer Feldgeneratoreinheit (200) ausgesendetes magnetisches Wechselfeld (210) gemessen wird, wobei aufgrund eines im Sensorelement (300) empfangenen Signals die Position des Sensorelementes (300) bestimmt wird. Erfindungsgemäss ist vorgesehen, dass, vorzugsweise in erster Näherung, Störfelder (410) berechnet werden, welche aufgrund von in elektrisch leitenden Objekten (400) erzeugten Wirbelströmen (420) entstehen. Des weiteren ist vorgesehen, dass die Position, welche ausgehend vom im Sensorelement (300) empfangenen Signal bestimmbar ist, aufgrund der berechneten Störfelder (410) korrigiert wird.

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 1 -

Verfahren zur Bestimmung der Position eines Sensorelementes

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem
5 Oberbegriff des Patentanspruchs 1, eine Anwendung des
Verfahrens, eine Vorrichtung zur Durchführung des
Verfahrens sowie ein Computerprogrammprodukt.

Bei zahlreichen technischen und medizinischen Verfahren ist
10 die genaue Kenntnis der Position eines bestimmten
Gegenstandes von entscheidender Bedeutung. Währenddem in
der Medizin die Position von einzelnen Gewebeteilen -
beispielsweise eines Tumors, der zur Zerstörung oder zur
Wachstumsbegrenzung bestrahlt werden soll - bestimmt werden
15 muss, ist die Positionserfassung zur Eingabe in ein
Computersystem, beispielsweise für „Cyber Space“-
Anwendungen, von allgemeiner Bedeutung. Eine solche
Positionserfassungs- bzw. Positioneingabeeinheit wird in
diesen Anwendungen auch etwa als dreidimensionale Maus
20 bezeichnet.

Eine bekannte Vorrichtung bzw. ein bekanntes Verfahren zur
Bestimmung der Position ist in der internationalen
Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnummer WO 97/36192
25 der gleichen Anmelderin beschrieben. Gemäss der bekannten
Lehre ist es vorgesehen, ein Wechselfeld mit Hilfe einer
Feldgeneratoreinheit aufzubauen, wobei je nach der Anzahl
Freiheitsgrade eines Sensorelementes, dessen Position
bestimmt werden soll, mehrere Wechselfelder einander
30 überlagert werden. Mit Hilfe einer Verarbeitungs- und
Steuereinheit, welche die Feldgeneratoreinheit einerseits
steuert, andererseits die vom Sensorelement empfangenen
Signale verarbeitet, wird die Position und gegebenenfalls

die Lage der Sensoreinheit bestimmt. Der Inhalt der vorstehend genannten Veröffentlichung bildet diesbezüglich integrierender Bestandteil dieser Beschreibung.

- 5 Es hat sich gezeigt, dass bei einer magnetfeldbasierten Ortung, wie sie beispielsweise bei der bekannten Lehre gemäss WO 97/36192 angewandt wird, in benachbarten, elektrisch leitenden Objekten Wirbelströme erzeugt werden. Diese führen zu Verzerrungen des ursprünglichen magnetischen Wechselfeldes und damit zu systematischen Fehlern. Das bedeutet, dass, wenn Position und Ausrichtung von Sensorelementen im verzerrten Wechselfeld so bestimmt werden, als wäre kein elektrisch leitendes Objekt zugegen, die gewonnenen Werte systematisch verfälscht sind.
- 10
- 15 Ein Verfahren zur Kompensation von Störeffekten, welche durch leitende Objekte hervorgerufen werden, ist unter dem Namen „Distortion Mapping“ bekannt. Dieses Verfahren wird beispielsweise im Aufsatz mit dem Titel „Calibration of Tracking Systems in a Surgical Environment“ (Birkfellner et. al., IEEE Trans Med Imaging, Vol. 17(5), Seiten 737 bis 20 742, 1998) beschrieben. Beim bekannten Verfahren wird die Position und die Orientierung eines Sensorelementes ebenfalls mit Hilfe eines Positionsmesssystems, das auf 25 einer magnetfeldbasierten Ortung beruht, vorgenommen, wobei zur Kompensation von Störeffekten ein zweites Positionsmesssystem vorgesehen ist, welches durch elektrisch leitende Objekte nicht beeinflussbar ist. Die Differenz zwischen den mit den beiden Positionsmesssystemen ermittelten Positionen und Orientierungen werden in der 30 Folge zur Korrektur der mit Hilfe des magnetfeldbasierten Positionsmesssystems bestimmten Position und Orientierung verwendet. Das bekannte Verfahren weist jedoch den Nachteil

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 3 -

auf, dass, zur Erreichung einer hohen Genauigkeit, die Positions- und Orientierungsdifferenz an möglichst vielen Punkten gemessen werden muss. Um weitere Punkte zu erhalten, muss zusätzlich ein aufwendiges

- 5 Interpolationsverfahren angewendet werden. Der sehr hohe Aufwand wird insbesondere durch das folgende Beispiel deutlich: Soll ein Volumen von 1 m^3 vermessen werden, wobei dies in den drei Achsen alle 10cm und in zehn verschiedenen Orientierungswinkeln geschehen soll, so erhält man 10'000
- 10 Punkte. Darüber hinaus ist das erwähnte zweite Positionsmesssystem erforderlich.

- Des weiteren ist ein Verfahren zur Kompensation von Störeffekten bekannt, bei dem Magnetfelder durch gepulste
- 15 Gleichstromfelder erzeugt werden, wobei die Kompensation von Wirbelstromeffekten dadurch vorgenommen werden, indem Magnetfeldmessungen erst nach dem Abklingen der im Messsignal enthaltenen Wirbelstromanteile durchgeführt werden. Weiterführende Erläuterungen zum bekannten
- 20 Verfahren können den Druckschriften US-5 453 686 und US-5 767 669 entnommen werden. Es hat sich gezeigt, dass die Genauigkeit der ermittelten Resultate ungenügend ist. Insbesondere ist die Kompensation unvollständig, wenn die Zerfallszeiten der Wirbelstromanteile die Pulszeit zwischen
- 25 zwei Gleichstrompulsen übersteigt. Zwar kann dem durch Verlängerung der Pulszeit begegnet werden, doch führt dies zu einer unerwünschten geringeren Messrate. Des weiteren lässt sich die bekannte Kompensationsmethode nicht bei auf magnetischer Ortung basierenden Positionsmesssystemen
- 30 anwenden, die magnetische Wechselfelder erzeugen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das eine verbesserte

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 4 -

Bestimmung der Position und/oder der Lage eines Sensorelementes ermöglicht.

5 Diese Aufgabe wird durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Massnahmen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung, eine Anwendung des Verfahrens, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie ein Computerprogrammprodukt sind in weiteren Ansprüchen angegeben.

10 Mit dem erfindungsgemässen Verfahren wird es ermöglicht, den Einfluss von leitenden Objekten zu eliminieren, zumindest aber erheblich zu reduzieren. Des weiteren ist dieses Verfahren allgemeiner und genauer als die bekannten
15 Verfahren. Schliesslich kann der geometrieabhängige Teil der Berechnungen im Sinne einer Systemkalibrierung vor dem eigentliche Einsatz des Positionsmesssystems vorgenommen werden.

20 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1 eine bekannte Anordnung, bestehend aus
25 Feldgeneratoreinheit, Sensorelement und Verarbeitungs- und Steuereinheit, in schematischer Darstellung, mit einem elektrisch leitenden Objekt,

Fig. 2 ein elektrisch leitendes Objekt und

30 Fig. 3 ein Flussdiagramm mit einigen Verfahrensschritten des erfindungsgemässen Verfahrens.

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 5 -

In Fig. 1 ist eine bekannte Anordnung, bestehend aus einer Feldgeneratoreinheit 200, einem Sensorelement 300 und einer Verarbeitungs- und Steuereinheit 100, dargestellt. Die Verarbeitungs- und Steuereinheit 100 ist jeweils über Leitungen mit der Feldgeneratoreinheit 200 einerseits und dem Sensorelement 300 andererseits verbunden. Während sich die Feldgeneratoreinheit 200 vorzugsweise an einem bekannten Ort befindet - was bedeutet, dass die Koordinaten x , y , z , inkl. der Ausrichtung im Koordinatensystem, bekannt sind - kann das Sensorelement 300 beliebig bewegt werden bzw. eine beliebige Position und Orientierung einnehmen. Es wird darauf hingewiesen, dass es denkbar ist, wie bereits aus der WO 97/36192 bekannt ist, dass das Sensorelement 300 ortsfest und die Feldgeneratoreinheit 200 frei, d.h. im Rahmen der zur Verfügung gestellten Verbindungsleitung zur Verarbeitungs- und Steuereinheit 100, beweglich ist. Des Weiteren ist auch ohne weiteres denkbar, dass die Verarbeitungs- und Steuereinheit 100 in mehreren Funktionseinheiten realisiert ist, wie zum Beispiel, dass die Steuereinheit zur Steuerung der Feldgeneratoreinheit 200 in einem Funktionsblock und die Verarbeitungseinheit, in der die eigentliche Positionsberechnung der Position des Sensorelementes 300 vorgenommen wird, in einem anderen Funktionsblock realisiert ist. Diese Abwandlungen von der in Fig. 1 dargestellten Anordnung haben keinen Einfluss auf die Anwendbarkeit des erfindungsgemässen Verfahrens. Das Gleiche gilt auch für Ausführungsformen, bei denen mehrere Feldgeneratoren an unterschiedlichen Stellen vorgesehen sind, wie dies beispielsweise bei der Lehre gemäss WO 97/36192 der Fall ist.

Mit 400 ist in schematischer Darstellung ein elektrisch

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 6 -

leitendes Objekt stellvertretend für diejenigen Gegenstände dargestellt, welche die magnetische Ortung des Sensorelementes 300 stört, indem im Objekt 400 Wirbelströme 420 erzeugt werden, aufgrund derer ein dem Wechselfeld 210 überlagertes Störfeld 410 entsteht.

Bevor auf das erfindungsgemäße Verfahren weiter beschrieben wird, werden im folgenden zunächst allgemeine Zusammenhänge bzw. Vorgehensweisen bei der magnetfeldbasierten Ortung erläutert.

Wie bereits erwähnt wurde, wird bei der magnetfeldbasierten Ortung, welche auch etwa als magnetische Ortung bezeichnet wird, die Position und/oder Ausrichtung von einem oder mehreren Sensorelementen 300 relativ zu einem oder mehreren Feldgeneratoreinheiten 200 bestimmt. Die Position \vec{r}_s und Orientierung \vec{n}_s der Sensorelemente S_i kann durch Lösung des folgenden Gleichungssystems bestimmt werden, wenn man voraussetzt, dass Position \vec{r}_g und Orientierung \vec{n}_g der Feldgeneratoreinheiten G_j bekannt sind:

$$F_i = F(\vec{r}_s, \vec{n}_s, \vec{r}_g, \vec{n}_g) \quad (1)$$

Mit i ist das i -te Sensorelement und mit j die j -te Feldgeneratoreinheit gemeint. F ist dabei eine vom Magnetfeld abhängige Messfunktion von meistens einer Komponente des Magnetfelds $\vec{B}(x, y, z, t)$ (z.B. die induzierte Spannung in einer Sensorspule). F kann natürlich auch eine Funktion von vielen zusammengebauten Sensoren in einem Sensorelement sein, welches mehrere oder alle Komponenten gleichzeitig misst.

Nach Art der Lösung dieses Gleichungssystems können magnetische Positionssysteme in zwei Klassen unterteilt werden:

5

I. Das Gleichungssystem wird invertiert, d.h. die Sensorelementpositionen können aus den gemessenen Magnetfeldern berechnet werden:

$$10 \quad \vec{r}_s = f_r(F_y) \text{ und } \vec{n}_s = f_n(F_y) \quad (2)$$

Da die Inversion des Gleichungssystems nur in sehr speziellen Fällen möglich ist, kann man durch Näherung versuchen, die Feldgleichungen in eine invertierbare Form
15 zu bringen.

II. Das Gleichungssystem wird durch Optimierung gelöst, d.h. die Sensorelementpositionen werden so lange variiert, bis die nach Gleichung 1 berechneten Werte F_y am besten
20 mit den gemessenen Werten F_y^M übereinstimmen. Eine mögliche Methode wäre ein Chi²-Fit nach Levenberg-Marquardt. Dabei werden die Sensorpositionen \vec{r}_s und \vec{n}_s so lange variiert bis

$$25 \quad \text{Chi}^2(\vec{r}_s, \vec{n}_s) = \sum_I \frac{(F_y - F_y^M)^2}{(\Delta F_y^M)^2} \quad (3)$$

minimal wird. Für weiterführende Angaben zur Methode nach Levenberg-Marquardt wird stellvertretend auf die Druckschrift mit dem Titel „Numerical Recipes in C“ (W. H.
30 Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling und B. P. Flannery; Cambridge university Press; 1994) verwiesen.

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 8 -

Es ist auch eine Kombination beider Lösungsansätze möglich.

- Da die vom Sensorelement S_i gemessene Grösse F_y nur von der
5 relativen Lage vom Sensorelement S_i und der
Feldgeneratoreinheit G_j abhängt, sind die Rollen von
Sensorelement und Feldgeneratoreinheit in allen
magnetischen Positionsmesssystemen austauschbar.
- 10 Werden zeitlich variierende magnetische Felder benützt, so
erzeugen diese - wie bereits erwähnt wurde - in
benachbarten, elektrisch leitenden Objekten 400
Wirbelströme 420. Diese führen zu Verzerrungen des
ursprünglichen magnetischen Wechselfeldes 210 und damit zu
15 systematischen Fehlern bei der Positionsbestimmung. Das
bedeutet, dass, wenn Position und Ausrichtung von
Sensorelementen im verzerrten Wechselfeld so bestimmt
werden, als wäre kein elektrisch leitendes Objekt 400
zugegen, die gewonnenen Werte systematisch verfälscht sind.
- 20 Um das Verfahren der magnetischen Ortung auch in der
Nachbarschaft von elektrisch leitenden Objekten 400 frei
von durch diese hervorgerufenen Fehlern anwenden zu können,
werden erfindungsgemäss die Wechselfeldverzerrungen und ihr
25 Einfluss auf die Bestimmung von Sensorelementposition und
Sensorelementausrichtung bestimmt. Damit können die
auftretenden systematischen Fehler korrigiert werden, womit
die Genauigkeit der Position und/oder der Ausrichtung
erheblich verbessert werden kann.
- 30 Bei einer vorgegebenen Messanordnung hat man feststellen
können, dass ein Messfehler von 4cm mit dem

erfindungsgemässen Verfahren auf weniger als 1,5mm reduziert werden konnte.

Grundsätzlich lassen sich diese Korrekturen auch mit Hilfe
5 der Technik der finiten Elemente und den Gleichungen der Elektrodynamik finden. Die bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich gegenüber der Methode der finiten Elemente weiter dadurch aus, dass eine massive Reduktion der Positionsberechnung erreicht wurde, da
10 vieles im Sinne einer Systemkalibration im voraus berechnet werden kann.

Im folgenden wird das erfindungsgemässe Verfahren erläutert, wobei der Einfachheit halber zunächst davon
15 ausgegangen wird, dass das Objekt 400 aus einer elektrisch leitenden Platte, d.h. aus einer flachen und begrenzten Fläche, besteht. Objekte 400, die in der Richtung einer gedachten Linie von der Feldgeneratoreinheit 200 zum Objekt 400 eine relevante Ausdehnung (Tiefe) besitzen, können
20 ebenfalls mit dem erfindungsgemässen Verfahren behandelt werden. Für diesen Zweck wird die der Feldgeneratoreinheit 200 zugewandte Seite durch eine Vielflächen-Struktur angenähert. Dies ist zulässig, da die Wirbelströme 420 nur geringfügig in die Oberfläche eindringen. Die Tiefe eines
25 dreidimensionalen Objektes 400 ist deshalb nicht relevant. Bei der mathematischen Bestimmung des Störfeldes 410 wird daher das Objekt 400 durch eine Vielflächenstruktur im vorstehend genannten Sinne angenähert.

30 Im folgenden werden Überlegungen betreffend die Berechnung von Feldverzerrungen bei einer leitende Platte dargestellt. Die daraus resultierenden Ergebnisse können analog bei allgemeineren Objektformen angestellt werden.

Befindet sich in einem zeitlich veränderlichen Magnetfeld $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ ein elektrisch leitendes Objekt 400, so werden Wirbelströme 410 (Fig. 1) in die Oberfläche des Objektes 5 400 induziert. Diese Wirbelströme 410 verursachen ein weiteres Magnetfeld $\vec{B}'(x, y, z, t)$, welches dem ursprünglichen Feld $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ überlagert ist und zu einem resultierenden Feld $\vec{B}_{\text{res}}(x, y, z, t)$ führt. $\vec{B}_{\text{res}}(x, y, z, t)$ ist gegenüber dem Feld $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ verzerrt. Um dieses verzerrte Feld berechnen zu 10 können, ist es notwendig, das induzierte Wechselfeld $\vec{B}'(x, y, z, t)$ zu kennen. Es lässt sich aus dem Biot-Savart Gesetz der Elektrodynamik (Gleichung 4) ein Feld $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ berechnen, welches gut genug $\vec{B}'(x, y, z, t)$ beschreibt, falls der örtliche und zeitliche Verlauf der Wirbelströme 410 im 15 Objekt 400 in N verschiedenen punktförmigen Stromelementen bekannt ist:

$$B_1(\vec{P}_R, t) = \sum_{i=0}^N \frac{\mu_0 \mu_r I_i(t) \Delta \vec{s}(t) \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (4)$$

20 wobei $\vec{P}_R = (x, y, z)$ ein Punkt im Raum ist und der Vektor \vec{r} vom Stromelement zum Punkt \vec{P}_R zeigt. Vorfaktoren können, falls notwendig, eingeführt werden und/oder können im Betrag des Faktors $\Delta \vec{s}(t)$ enthalten sein. Eine detailliertere Berechnung von $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ durch Einführung von Längsströmen oder 25 Flächenströmen etc. anstatt Punktströmen ist möglich. Dadurch würde die Schreibweise von Gleichung 4 allerdings geändert werden. In den meisten Fällen kann die Gleichung 4

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 11 -

hingegen so übernommen werden, wie sie oben aufgeführt ist, falls N gross genug gewählt wird.

Die Feldverzerrungen werden also in zwei Schritten
5 berechnet. Der erste Schritt ist die Bestimmung der
Wirbelströme 410 und der zweite Schritt ist die Berechnung
eines durch die Wirbelströme 410 erzeugten Störfelds
 $\vec{B}(x,y,z,t)$, welches gut genug das Störfeld $\vec{B}'(x,y,z,t)$
beschreibt.

10 Fig. 2 zeigt das Objekt 400, das für die Bestimmung des
Störfeldes 410 in eine Vielflächenstruktur, bestehend aus
beliebig vielen Segmenten, aufgeteilt ist. Ausgehend von
dieser Aufteilung und diversen weiteren Annahmen werden
15 zunächst die Wirbelströme berechnet.

Die Wirbelströme fliessen an der Oberfläche des Objektes
400 mit einer für die Theorie "unwesentlichen"
Eindringtiefe. Um das oben erwähnte Störfeld $\vec{B}(x,y,z,t)$
20 hinreichend genau zu berechnen, reicht es aus, den
zeitlichen Stromverlauf in einigen Punkten auf der
Oberfläche des Objektes 400 zu kennen. Die Anzahl der
Punkte hängt von der verlangten Genauigkeit ab. Die
Wirbelströme werden also in Punkten berechnet, welche auf
25 oder in der Nähe der Oberfläche des Objektes liegen.

In einem ersten Schritt wird das Objekt in N beliebig
geformte Segmente unterteilt, die sinnvollerweise (aber
nicht notwendigerweise) das ganze Objekt abdecken. Die
30 Segmente werden nachfolgend zur eindeutigen Unterscheidung
mit $S_i \{0 \leq i \leq N-1\}$ bezeichnet, wobei i als Index verwendet
wird.

In einem zweiten Schritt wird pro Segment ein Stützpunkt P_i gewählt. Es ist sinnvoll aber nicht zwingend, gleich viele Stützpunkte wie Segmente zu definieren und diese eindeutig zu den Segmenten zu zuordnen. Im folgenden wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass N Segmente S_i mit je einem eindeutig zugeordneten Stützpunkt P_i definiert werden. Die Stromdichte $\vec{i}_i(t)$ im Stützpunkt P_i eines jeden Segments S_i wird mittels der folgenden Formel berechnet:

10

$$\vec{i}_i(t) = \sum_{j=0}^N \vec{i}_{ij}(t) \text{ mit } j \neq i \quad (5)$$

wobei $\vec{i}_{ij}(t)$ die Stromdichte des Wirbelstroms $I_j(t)$ ist, welche durch die Flussänderung des Feldes von $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ im Segment S_j verursacht wird und durch den Stützpunkt P_i oder in der Umgebung des Stützpunktes P_i fließt. Die Berechnung der einzelnen Wirbelströme $I_j(t)$ ist im nächsten Abschnitt beschrieben. Zunächst gilt:

15

20

$$\vec{i}_i(t) = \frac{\vec{\lambda} I_j(t)}{A_i} \quad (5a)$$

mit $\vec{\lambda}$ als Richtungsvektor (oder eine dazu fast kollineare Richtung) der Stromlinie durch den Stützpunkt P_i im Stützpunkt P_i und mit A_i die Querschnittsfläche der Stromline ist, wobei:

25

$$A_i = \pi \cdot r^2(h) \quad (5b)$$

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 13 -

mit r = Radius der kreisrunden Querschnittsfläche;
 h = Eindringtiefe;

Sind nun die Stromdichten $\vec{i}_i(t)$ bekannt, so ist auch

- 5 $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ als Störfeld verursacht durch $\vec{B}_0(x, y, z, t)$
 berechenbar - dazu kann $\vec{i}_i(t) \cdot A(S_i)$ direkt in die Gleichung 4
 eingesetzt werden, wobei $A(S_i)$ die Fläche des Segments S_i
 ist. $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ kann in den meisten Fällen als $\vec{B}'(x, y, z, t)$
 betrachtet werden. Als Effekt zweiter Ordnung kann an
 10 dieser Stelle $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ als Urfield eingesetzt werden, um
 wiederum Wirbelströme für ein zweites Störfeld $\vec{B}_2(x, y, z, t)$ zu
 berechnen (Einfluss der Wirbelströme auf einander), welches
 mit $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ und $\vec{B}_1(x, y, z, t)$ überlagert ist. In zweiter
 Näherung wäre also $\vec{B}'(x, y, z, t)$ gleich der Summe aus $\vec{B}_1(x, y, z, t)$
 15 und $\vec{B}_2(x, y, z, t)$ - diese iterative Vorgehensweise kann für
 Effekte beliebiger Ordnung fortgesetzt werden. Es ist
 jedoch in den meisten Anwendungen der Effekt erster Ordnung
 hinreichend genau.

- 20 Ein einzelner Wirbelstrom $I_y(t)$ ist eine Stromlinie, die
 durch den Stützpunkt P_i fließt und durch die zeitliche
 Flussänderung des Feldes durch den Stützpunkt P_j verursacht
 wird. Um $I_y(t)$ zu berechnen sind die Induktivität L_y , sein
 Ohm'scher Widerstand R_y und die zeitliche Flussänderung
 25 $\frac{d\Phi_j}{dt}$ notwendig. Sind diese Größen bekannt, so ist $I_y(t)$
 durch die Lösung der Differentialgleichung

$$\frac{d\Phi_j}{dt} - L_y \frac{dI_y(t)}{dt} - R_y I_y(t) = 0 \quad (6)$$

gegeben. In vielen Fällen mag $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ zeitlich periodisch sein oder sogar harmonisch oszillieren, dies ist aber für die Gültigkeit der erfindungsgemässen Methode keine Notwendigkeit.

Die Induktivität L_y und der Ohm'sche Widerstand R_y sind durch die geometrische Form des Wirbelstroms $I_y(t)$ gegeben und die Flussänderung $\frac{d\Phi_j}{dt}$ durch das Feld $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ an der Stelle P_j zusammen mit der Fläche des Segments S_j . In den folgenden Schritten wird zuerst die Form des Wirbelstroms beschrieben, und anschliessend daraus die Induktivität L_y und der Ohm'sche Widerstand R_y berechnet.

Man stelle sich vor, dass eine einzelne Magnetfeldlinie B durch eine kleine Fläche dA um einen Punkt P auf dem Objekt dringt. In diesem Fall wären die induzierten Stromlinien in der Nähe vom Punkt P kreisförmig und am Rande des Objektes würden sie der Begrenzung folgen, also die Form der Umrandung des Objekts haben. Die Form eines beliebigen Wirbelstroms ist ein Strom entlang einer Höhenlinie einer Fläche, welche die Potentialgleichung

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

erfüllt, wobei $\varphi(x, y)$ das Potential darstellt. Die Randbedingungen zur eindeutigen Lösung von Gleichung 7

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 15 -

(ermitteln von $\varphi(x,y)$) sind aus Figur 2 zu entnehmen
 (nämlich ϕ_0 am Rand des Objektes und ϕ_1 im Punkt P_1 , $\phi_0 \ll \phi_1$). Diese Potentialgleichung ist am besten numerisch zu lösen. Mit der Form des Wirbelstroms und der Eindringtiefe
 5 h des Stroms in das Material ist die einzelne Stromlinie als Leiterschleife mit einem ringförmigen Materialquerschnitt mit dem Durchmesser der Eindringtiefe betrachtbar (andere sinnvolle
 Materialquerschnittsgeometrien sind natürlich denkbar,
 10 ändern aber an den Berechnungen nichts wesentliches).

Der Ohm'sche Widerstand der Leiterschleife wird somit zu

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi} \quad (8)$$

15

mit R = Ohmscher Widerstand [Ω]
 l = Länge der Leiterschleife [m]
 h = Eindringtiefe des Stroms [m]
 ρ = spezifischer elektrischer Widerstand des Materials
 20 [Ωm]

Die Induktivität der Leiterschleife ist gegeben durch

$$L = \frac{2W}{i^2} \quad (9)$$

25

und kann numerisch berechnet werden, wobei

$$W = \int_{\text{Raum}} \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0} dV \quad (10)$$

die gespeicherte Energie im vom Leiter erzeugten Magnetfeld bedeutet, falls ein Strom i im Leiter fließt. Es gibt "beliebig" viele andere Näherungsformeln, welche Gleichungen (8), (9) und (10) ersetzen könnten und ähnliche Resultate liefern.

Für die Berechnung des Flusses $\Phi_j(t)$ aus dem Feld $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ gilt:

10

$$\Phi_j(t) = \vec{B}_0(x, y, z, t) \cdot \vec{A}_j \quad (11)$$

wobei $\vec{B}_0(x, y, z, t)$ das ungestörte Feld an der Stelle P_j ist und \vec{A}_j die Flächennormale des Segments S_j ist, mit dem Betrag der Fläche des betreffenden Segments. Formel 11 ist eine Näherungsformel für die allgemein gültige Formel

15

$$\Phi_j(t) = \int_{A_j} \vec{B}_0(x, y, z, t) d\vec{A} \quad (11a)$$

und darf angewendet werden, wenn B über A_j hinreichend homogen ist (so z.B. für kleine Flächen A_j). An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die Fläche A_j des Segments S_j nicht in allen Fällen vollständig innerhalb der Leiterschleife $I_j(t)$ liegt - Korrekturen könnten diesbezüglich angebracht werden, sind aber in der Regel nicht notwendig.

25

Die teilweise intensiven Berechnung der Induktivitäten L_j und der Ohm'schen Widerstände R_j können mittels der

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 17 -

Formeln (8), (9) und (10) im voraus berechnet werden, da diese allein von der Geometrie und des Materials des Objektes abhängig sind - dies im Sinne einer Systemkalibration. Einsetzen und Lösen der Formeln (4) und (5), um $\vec{B}_1(x,y,z,t)$ zu berechnen, können zu einem anderen Zeitpunkt erfolgen, insbesondere wenn das Erregerfeld $\vec{B}_0(x,y,z,t)$ bekannt ist. Iterationen, wie z.B. Einsetzen des Feldes $\vec{B}_1(x,y,z,t)$ zur Berechnung eines Feldes $\vec{B}_2(x,y,z,t)$ usw., sind möglich. Solche Iterationen könnten aber auch im voraus erfolgen, indem man sie in die Induktivitäten L_y einbindet. Dies macht aber erst einen Sinn, wenn regelmässig Korrekturen höherer Ordnung benötigt werden.

In der Praxis werden bei der magnetischen Ortung Lage und Ausrichtung eines oder mehrerer Sensorelemente 300 (Fig. 1) in einem Magnetfeld bestimmt, das von einem oder mehreren Feldgeneratoreinheiten 200 erzeugt wird. In dem verwendeten Koordinatensystem ist die Position der Feldgeneratoreinheit 200 oder den Feldgeneratoreinheiten bekannt. Im Fall von magnetischen Wechselfeldern erzeugen benachbarte elektrisch leitende Objekte 400 Feldverzerrungen durch in den Objekten 400 induzierte Wirbelströme 420. Das erfindungsgemässe Verfahren zur Korrektur dieser Verzerrungen, dessen theoretische Grundlagen oben angegeben wurden, wird folgendermassen angewendet: Die Lage der elektrisch leitenden Objekte 400 im oben erwähnten Koordinatensystem ist bekannt oder wird durch Vermessung bestimmt. Die Objektkoordinaten werden in einem Computerprogramm, das zur Berechnung der Wirbelströme 420 und der daraus resultierenden Feldverzerrungen benutzt wird, derartig eingegeben, dass die in den oben angegebenen Formeln verwendeten Ortskoordinaten im durch die

Feldgeneratoreinheit 200 definierten Koordinatensystem definiert sind. Mit dem Computerprogramm wird dann das durch die Wirbelströme 420 erzeugte Störfeld berechnet. Bei Berücksichtigung der Wirbelströme 420 ändert sich das Gleichungssystem 1 wie folgt:

$$F_y = F(\vec{r}_s, \vec{n}_s, \vec{r}_a, \vec{n}_a) + \sum_{k=1}^P F'_k(\vec{r}_s, \vec{n}_s, \vec{r}_a, \vec{n}_a) \quad (12)$$

wobei F'_y die durch den Wirbelströme 420 des Objektes k erzeugte Störung darstellt. P ist die Anzahl der Objekte. Wie diese Korrektur angewendet wird, hängt von der Art des magnetischen Positionsmesssystems ab.

I. Bei Systemen, die auf Gleichung 2 beruhen, werden die Messwerte iterativ korrigiert, d.h. man berechnet zuerst die ungestörte Lösung nach Gleichung 2. Mit der gefundenen Position des Sensorelementes 300 kann der Korrekturterm F' berechnet und von den Messungen F_y^M abgezogen werden. Mit den korrigierten Messungen wird wieder eine Position berechnet. Dieser Algorithmus wird fortgesetzt, bis die Variation der berechneten Positionen unter gewissen Toleranzschwellen liegen.

II. Bei Systemen, die auf Gleichung 3 beruhen, muss der Lösungsalgorithmus nicht geändert werden. In der Chi²-Summe werden anstatt des Modells zur Berechnung der wirbelstromfreien Magnetfeldes F_y nach Gleichung 1 das Magnetfeld mit Wirbelstromkorrekturen nach Gleichung 12 benutzt.

III. Unter bestimmten Voraussetzungen kann es auch möglich sein, das Gleichungssystem 12 zu invertieren, was dann zu einer Lösung entsprechend Gleichung 2 führt.

- 5 Fig. 3 zeigt, in vereinfachter Darstellung, ein Struktogramm eines nach dem erfindungsgemässen Verfahren arbeitenden Computerprogramms. Die einzelnen Verarbeitungsschritte wurden bereits anhand der Fig. 1 und 2 ausführlich erläutert.
- 10 Das erfindungsgemässe Verfahren kann auch vorzüglich für Objekte mit Öffnungen (Löcher) angewendet werden, wobei die Anzahl L der Öffnungen beliebig sein kann. Dabei muss für die schon beschriebene Lösungsmethode zunächst die Randbedingung der Potentialgleichung (7) an den Rändern der
- 15 Öffnungen gleich dem Potential ϕ_0 am Rande des Objektes sein. Des weiteren kommen zu der beschriebenen Methode weitere N mal L (N =Anzahl Stützpunkte und L =Anzahl Öffnungen) Stromlinien I_{ik} hinzu, die in der Summe (5) noch zu addieren sind (k wandert von 1 bis L).
- 20 Die zusätzlichen Wirbelstromlinien I_{ik} sind einzeln analog zu den Wirbelstromlinien I_{ij} berechenbar, d.h. Lösen der Potentialgleichung (7) für die Form des Stroms und berechnung der Induktivität und des Widerstands nach Gleichungen (8) und (9). Bei der Potentialgleichung (7) ist
- 25 allerdings zu beachten, dass die Randbedingung nicht " ϕ_0 im Punkt P_j " lautet, sondern " ϕ_0 am Rand der Öffnung k ". Bei grossen Öffnungen ist eventuell Formel 11a für die Berechnung des Flusses zu verwenden anstatt die Näherungsformel 11.
- 30 Einzelne Leiterschleifen können auch mit dieser Methode berechnet werden, da die vorher erwähnten Öffnungen

- beliebig nahe an der Umrandung der zu berechnenden Objekte ausgedehnt werden kann. Das einfachste Beispiel ist ein Kreisring, welches als Scheibe mit einer fast gleich grossen Öffnung betrachtet werden kann: In diesem Beispiel sind die Stromlinien I_{ij} vernachlässigbar (die Stützpunkte könnten weggelassen werden) und es gibt nur ein I_{ik} dessen Form durch den Kreisring gegeben ist. Falls die Stützpunkte weggelassen werden, ist das Feld B_1 durch das Linienintegral über die Gleichung 4 zu bestimmen.
- 10 Ein weiterer Aspekt besteht darin, dass Störeinflüsse von unbekanntem Objekten abgeschirmt werden, indem man zwischen Feldgeneratoreinheit und Objekt eine leitende Platte vorsieht, wobei deren Grösse und Form als auch deren Position bekannt sind. Damit müssen zwar die
- 15 Feldverzerrungen dieser Platte berücksichtigt werden, doch alle anderen elektrisch leitenden Objekte, welche sich auf der in Bezug auf die Feldgeneratoreinheit anderen Seite der Platte befinden, können wegen der Abschirmung unberücksichtigt bleiben.
- 20

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Position eines
5 Sensorelementes (300), mit Hilfe dessen ein von mindestens
einer Generatoreinheit (200) ausgesendetes magnetisches
Wechselfeld (210) gemessen wird, wobei aufgrund eines im
Sensorelement (300) empfangenen Signals die Position des
Sensorelementes (300) bestimmt wird, dadurch
10 gekennzeichnet,
- dass, vorzugsweise in erster Näherung, Störfelder
(410) berechnet werden, welche aufgrund von in
elektrisch leitenden Objekten (400) erzeugten
Wirbelströmen (420) entstehen, und
15 - dass die Position, welche ausgehend vom im
Sensorelement (300) empfangenen Signal bestimmbar ist,
aufgrund der berechneten Störfelder (410) korrigiert
wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
- dass die Wirbelströme (420) im Objekt (400), ausgehend
vom Wechselfeld (210), berechnet werden und
- dass die Störfelder (410), ausgehend von den
berechneten Wirbelströme (420) berechnet werden.
25
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
zur weiteren Verbesserung der Positionsbestimmung
mindestens eine weitere Iteration durchgeführt wird, indem
- weitere Wirbelströme im Objekt (400), ausgehend von
berechneten Störfeldern (410), berechnet werden und
30 - weitere Störfelder, ausgehend von den weiteren
Wirbelströmen, berechnet werden.

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 22 -

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Position und Form der Objekte (400) bestimmt werden und dass Widerstände nach der Gleichung

5

$$R = \frac{l\rho}{\left(\frac{h}{2}\right)^2 \pi}$$

und Induktivitäten nach der Gleichung

10

$$L = \frac{2W}{l^2}$$

im Objekt (400) berechnet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur weiteren Verbesserung der Induktivitäten eine weitere Iteration durchgeführt wird, indem

- weitere Wirbelströme im Objekt (400), ausgehend von berechneten Störfeldern (410), berechnet werden,
- weiter Induktivitäten, ausgehend von den weiteren Wirbelströmen, bestimmt werden.

20

6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Objekte (400), die Bestimmung der Widerstände und Induktivitäten im Objekt (400) im Sinne einer Systemkalibrierung im voraus, d.h. vor den das Wechselfeld (210) berücksichtigenden Berechnungen, bestimmt werden.

25

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der

30

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

- 23 -

Wirbelströme wie folgt vorgegangen wird:

- die Objekte (400) werden in Segmente (S_i) und Stützstellen (P_i) aufgeteilt;
 - in den Stützpunkten (P_i) wird die Stromdichte (i_i) bestimmt;
- 5
- aus den Wirbelströmen (I_{ij}) werden die Stromdichten (i_i) bestimmt.

8. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 für die magnetfeldorientierte Ortung bei „Cyber Space“-Anwendungen.

10

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Feldgeneratoreinheit (200), mindestens ein Sensorelement (300) und eine Verarbeitungs- und Steuereinheit (100) vorgesehen sind, wobei die Feldgeneratoreinheit (200) und das Sensorelement (300) mit der Verarbeitungs- und Steuereinheit (100) verbunden sind.

15

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein elektrisch leitendes Objekt zum Abschirmen der Feldgeneratoreinheit (200) vorgesehen sind.

20

11. Computerprogrammprodukt, das in den internen Speicher eines digitalen Computers geladen werden kann und Softwarecodeabschnitte umfasst, mit denen die Schritte gemäß den Ansprüchen 1 bis 6 ausgeführt werden, wenn das Produkt auf einem Computer läuft.

25

WO 02/08793

PCT/CH01/00431

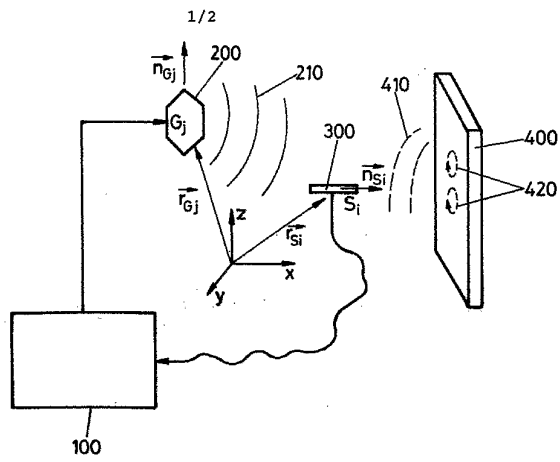


FIG.1

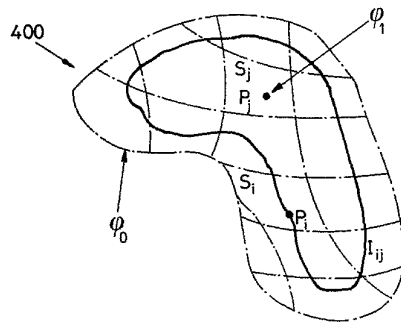


FIG.2

2/2

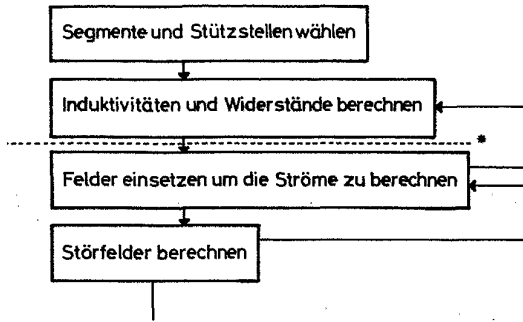


FIG. 3

【手続補正書】

【提出日】平成14年9月18日(2002.9.18)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

センサ要素(300)の位置確定方法であって、該センサ要素を用いて、少なくとも1つの磁界発生ユニット(200)から放射される交番磁界(210)が測定され、その際にセンサ要素(300)で受信される信号に基づいて、センサ要素(300)の位置が確定され、さらに、好適には第1近似で、導電体(400)に生成されたうず電流(420)に基づいて生ずる干渉磁界(410)が計算されるとともに、センサ要素(300)で受信された信号から出発して確定自在である位置が、計算された干渉磁界(410)に基づいて補正される方法において、導電体(400)内のうず電流(420)は、交番磁界(210)から出発して計算されることと、干渉磁界(410)は、計算されたうず電流(420)から出発して計算されることを特徴とする方法。

【請求項2】

位置確定をさらに改良するために、少なくとも1回のさらなる反復が実行され、その際には導電体(400)内の他のうず電流が、計算された干渉磁界(410)から出発して計算され、ならびに他の干渉磁界が、他のうず電流から出発して計算されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

導電体(400)の位置および形が確定されることと、導電体(400)での抵抗が、 $R = l p / (h / 2)^2$ に従って、かつ自己インダクタンスが $L = 2 W / i^2$ に従って計算されることと、を特徴とする請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

自己インダクタンスのさらなる改良のために、さらなる反復が実行され、その際には導電体(400)内の他のうず電流が、計算された干渉磁界(410)から出発して計算され、ならびに他の自己インダクタンスが、他のうず電流から出発して確定されることを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

導電体(400)の確定と抵抗の確定と導電体(400)での自己インダクタンスとが、系統的較正の意味で事前に、すなわち、交番磁界(210)を考慮する計算の前に確定されることを特徴とする、請求項3および4に記載の方法。

【請求項6】

うず電流の確定のために、次のように進行されることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の方法。

- ・導電体(400)は、各セグメント(S_i)および各支持点(P_i)に分割される。
- ・各支持点(P_i)では、電流密度(i_i)が確定される。
- ・うず電流(I_{ij})から電流密度(i_i)が確定される。

【請求項7】

「サイバースペース」利用における磁界的位置測定のための、請求項1から6のいずれか1項に記載の方法の利用。

【請求項8】

少なくとも1つの磁界発生ユニット(200)と少なくとも1つのセンサ要素(300)と処理・制御ユニット(100)とが設けられており、磁界発生ユニット(200)およ

びセンサ要素(300)は、処理・制御ユニット(100)と接続されていることを特徴とする、請求項1乃至6に記載の方法を実行する装置。

【請求項9】

少なくとも1つの導電体が、磁界発生ユニット(200)を遮蔽するために設けられていることを特徴とする請求項8に記載の装置。

【請求項10】

デジタルコンピュータの内部記憶器にロード可能でありかつソフトウェアコード部分を包含するコンピュータプログラム生成物であって、ソフトウェアコード部分によって、コンピュータプログラム生成物がコンピュータ上で走行する場合に、請求項1乃至5に記載の各工程が実行されるコンピュータプログラム生成物。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/CH 01/00431
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01V3/08 A61B5/06 G01B7/004		
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) IPC 7 G01V A61B G01B		
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) WPI Data, PAJ, 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.
X	EP 0 993 804 A (BIOSENSE INC) 19 April 2000 (2000-04-19) page 6, line 21 - line 31	1,11
P,X	WO 01 33231 A (POLHEMUS INC) 10 May 2001 (2001-05-10) page 2, line 23 -page 4, line 8	1,11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 ** 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. *8* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 1 October 2001		Date of mailing of the international search report 09/10/2001
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) 340-3010		Authorized officer Häusser, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/CH 01/00431

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 0993804	A	19-04-2000	US 6147480 A	14-11-2000
			AU 5267899 A	20-04-2000
			EP 0993804 A1	19-04-2000
			JP 2000116790 A	25-04-2000
WO 0133231	A	10-05-2001	AU 1355201 A	14-05-2001
			WO 0133231 A2	10-05-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT		Internationales Aktenzeichen PCT/CH 01/00431
A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 G01V/08 A61B5/06 G01B7/004		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchiertes Mindestpräzifikat (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G01V A61B G01B		
Recherchierte aber nicht zum Mindestpräzifikat gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 993 804 A (BIOSENSE INC) 19. April 2000 (2000-04-19) Seite 6, Zeile 21 - Zeile 31	1,11
P,X	WO 01 33231 A (POLHEMUS INC) 10. Mai 2001 (2001-05-10) Seite 2, Zeile 23 - Seite 4, Zeile 8	1,11
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Fachbereichsbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *D* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist ** Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist **X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden **Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist **Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
1. Oktober 2001		09/10/2001
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5018 Patentlaan 2 NL - 2200 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Beauftragter Häusser, T

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT				Internationales Aktenzeichen	
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören				PCT/CH 01/Q0431	
Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0993804	A	19-04-2000	US 6147480 A		14-11-2000
			AU 5267899 A		20-04-2000
			EP 0993804 A1		19-04-2000
			JP 2000116790 A		25-04-2000
WO 0133231	A	10-05-2001	AU 1355201 A		14-05-2001
			WO 0133231 A2		10-05-2001

フロントページの続き

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

(72)発明者 キルシュ、ステファン エル.

スイス国 CH - 5 3 0 3 ヴューレンリンゲン

Fターム(参考) 2F063 AA04 AA37 BA29 CA08 DA01 DA05 GA08 KA01
2G005 BA04