(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 32 583 T2** 2005.06.09

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 830 612 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 32 583.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CA96/00393**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 918 537.0**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/041209**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.06.1996**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **19.12.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.03.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **26.05.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.06.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G01R 33/022**

(30) Unionspriorität:
476290 **07.06.1995** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FI, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
CTF Systems Inc., Port Coquitlam, British Columbia, CA

(74) Vertreter:
Maiwald GmbH, 80335 München

(72) Erfinder:
VRBA, Jiri, Port Coquitlam, CA; HAID, James, Gordon, Pitt Meadows, CA; LEE, Meng, Wai, Coquitlam, CA; TAYLOR, Ronald, Brent, Coquitlam, CA; TILLOTSON, Alan, Mark, Maple Ridge, CA

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERHALTUNG VON HOHEREN-ORDNUNG-GRADIOMETER-MESSUNGEN MIT GRADIOMETER VON NIEDRIGER ORDNUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Anordnungen und Verfahren zum Erhalt magnetischer Messungen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung magnetische Messungen, die mit Gradiometern niedrigerer Ordnung durchgeführt werden, wobei letztendlich Messungen erhalten werden, die im wesentlichen den Messungen entsprechen, die mit Gradiometern höherer Ordnung erhalten werden würden.

HINTERGRUND

[0002] Es ist bekannt, kleine Signalmagnetfelder mit SQUID-basierten Magnetometern zu vermessen. Der hier verwendete Begriff Kleinmagnetfelder soll Magnetfeldstärken umfassen, wie beispielsweise solche, die in der Biomagnetometrie, Geophysik, bei SQUID-basierter zerstörungsfreier Auswertung (SQUID NDE) etc. auftreten.

[0003] Ebenfalls ist es bekannt, Gradiometer zu bauen, indem entweder ein Paar oder mehrere Magnetometerpaare kombiniert werden, wie es beispielsweise in dem US-Patent 5,122,744 von Koch gezeigt ist, oder Gradiometer zu bauen, die ein Paar oder Paare gegensinniger Sensorspulen verwenden, wie es in dem US-Patent 5,311,129 von Ludwig et al. gezeigt ist. Eine Abhandlung gegenläufig gewickelter Gradiometer befindet sich in "Spatial Discrimination in SQUID Gradiometers and 3rd Order Gradiometer Performance" von J. Vrba, A. A. Fife und M. B. Burbank, in Canadian Journal of Physics, 60, 1982, Seiten 1060–1073.

[0004] Im Allgemeinen werden, wie in der oben genannten Druckschrift von Vrba et al abgehandelt ist, Gradiometer gegenüber Magnetometern bevorzugt (die hier verwendeten Begriffe Magnetometer und Gradiometer Nullter Ordnung werden hier als Synonyme verwendet und Verweis auf Gradiometer umfassen je nach Kontext des Verweises ebenso Magnetometer, wie die Fachleute erkennen werden), da sie eine verbesserte räumliche Filterung magnetischer Felder ermöglichen. Anders ausgedrückt können Gradiometer-Nicht-Nullter Ordnung eine hohe Empfindlichkeit bezüglich Magnetquellen, die relativ nahe bei den Sensorspulen des Gradiometers angeordnet sind, und eine deutlich reduzierte Empfindlichkeit (verbesserte Unterdrückung) gegenüber Magnetquellen aufrechterhalten, die relativ weit entfernt von den Sensorspulen des Gradiometers sind. Außerdem wird im allgemeinen ein Gradiometer höherer Ordnung eine bessere Unterdrückung aufweisen als ein Gradiometer niedrigerer Ordnung. Solches räumliches Filtern ist häufig von Vorteil und erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn das Gradiometer in einer nicht abgeschirmten oder nur geringfügig abgeschirmten Umgebung verwendet werden soll.

[0005] Des weiteren beschreibt das US-Patent mit der Nr. 5,187,463 von Mallick eine Anordnung und ein Verfahren zum rauschfreien Messen eines biomagnetischen Feldes. Dies wird dadurch bewerkstelligt, indem der berechnete Rauschfluss von dem insgesamt gemessenen Fluss subtrahiert wird, der von einer Sensoranordnung bestehenden Ordnung erhalten wurde. Mallick stellt ein Verfahren zur Rauschverminderung zur Verfügung, das einfache Subtraktion von Sensorsignalen verwendet, die in einer parallelen Beziehung beabstandet voneinander angeordnet sind, wobei lediglich eine Komponente des Gradiententensors verwendet wird, um die Rauschverminderung zu erzielen. Ein Nachteil der Anordnung von Mallick besteht darin, dass es erforderlich ist, das Referenzsystem und die Sensoren sorgfältig auszurichten, um eine 1,5- bis 2-fache Rauschreduzierung zu erhalten. Ein weiterer Nachteil besteht in der Limitierung auf ähnliche Geometrien, um eine sorgfältige Ausrichtung der Sensoranordnungen zur Verfügung zu stellen, was ein Ergebnis des Mangels an vollständiger Information über die zugehörigen Felder und Gradienten ist.

[0006] Außerdem ist es im allgemeinen infolge verschiedener Faktoren, wie beispielsweise physikalischer und größenmäßiger Beschränkungen, Überlegungen hinsichtlich der Herstellbarkeit und Punkten, die den Gradiometerabgleich betreffen, im allgemeinen nicht zweckmäßig, Anordnungen mit mehreren Sensoren zu bauen, die Hardware-Gradiometer zweiter oder höherer Ordnung als Sensoren verwenden. Dementsprechend waren bislang Multisensoranordnungen mit Gradiometersensoren höherer Hardwareordnung für kommerzielle Zwecke ungeeignet.

[0007] Es ist daher wünschenswert, ein Verfahren oder ein System zu besitzen, das Messungen bereitstellt, die im wesentlichen denen gleichwertig sind, die mittels Gradiometersensoren zweiter oder höherer Ordnung erzielt werden würden, ohne dass es erforderlich ist, solche Sensoren zu verwenden.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0008] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung ein neues Verfahren und eine Anordnung zur Verfügung zu stellen, um Sensorgradiometer einer gegebenen Ordnung zu verwenden, um magnetische Messungen zu erhalten, die im wesentlichen den Messungen entsprechen, die von Sensorgradiometern einer gewählten höheren Ordnung erhalten werden würden.

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Erzielung einer magnetischen Messung gemäß Anspruch 1 zur Verfügung gestellt.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Anordnung zur Erzielung einer magnetischen Messung gemäß Anspruch 8 zur Verfügung gestellt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0011] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun anhand von Beispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Fig. beschrieben:

[0012] Fig. 1 zeigt die hier verwendeten Symbole, um Magnetometersensoren (Gradiometer Nullter Ordnung), Gradiometersensoren erster und Gradiometersensoren zweiter und beispielhafte Anordnungen der Sensoren jeder Ordnung darzustellen;

[0013] Fig. 2 ist eine schematische Darstellung eines Gradiometersensors Nullter Ordnung;

[0014] Fig. 3 ist eine schematische Darstellung eines Gradiometersensors erster Ordnung;

[0015] **Fig.** 4a bis 4c sind schematische Darstellungen von Gradiometern erster Ordnung;

[0016] Fig. 5 ist eine schematische Darstellung eines verallgemeinerten Gradiometers zweiter Ordnung;

[0017] **Fig.** 6a bis 6c sind schematische Darstellungen einer Anordnung von Gradiometern zweiter Ordnung;

[0018] **Fig.** 7a zeigt das hier verwendete Symbol, um ein Vektor(Tensor)Magnetometer mit drei Komponenten darzustellen;

[0019] **Fig.** 7b zeigt das hier verwendete Symbol, um ein Tensorgradiometer erster Ordnung darzustellen;

[0020] **Fig.** 7c zeigt das hier verwendete Symbol, um ein Tensorgradiometer zweiter Ordnung darzustellen;

[0021] Fig. 8 zeigt ein bekanntes System, um eine magnetische Messung mit einem Magnetometer zu erzielen, die im wesentlichen der entspricht, die mit einem Gradiometer erster Ordnung erzielt werden würde;

[0022] **Fig.** 9a bis 9d zeigt einige der möglichen Anordnungen von Tensormagnetometern;

[0023] Fig. 10 zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mit einem Magnetometer zu erzielen, die im wesentlichen der gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers zweiter Ordnung erzielt werden würde;

[0024] **Fig.** 11a bis 11d zeigt einige der möglichen Anordnungen eines Tensorgradiometers erster Ordnung;

[0025] Fig. 12 zeigt zum Vergleich mit der vorliegenden Erfindung eine Anordnung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mit einem Gradiometer erster Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen der gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers zweiter Ordnung erzielt werden würde;

[0026] Fig. 13 zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Magnetometers zu erzielen, die im wesentlichen der gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde;

[0027] Fig. 14a zeigt eine bevorzugte Anordnung eines Tensorgradiometers zweiter Ordnung;

[0028] Fig. 14b bis Fig. 14g zeigen andere mögliche Anordnungen eines Tensorgradiometers zweiter Ordnung;

[0029] Fig. 15 zeigt die Anordnung des Tensorgradiometers zweiter Ordnung der Fig. 14a in vergrößerter Darstellung;

[0030] Fig. 16 zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers erster Ordnung zu erzielen, welche im wesentlichen der gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde;

[0031] Fig. 17 zeigt zum Vergleich mit der vorliegenden Erfindung eine Anordnung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers zweiter Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen der gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde;

[0032] Fig. 18 zeigt eine Biomagnetometeranordnung mit mehreren Kanälen, die die vorliegende Erfindung verwendet;

[0033] Fig. 19 zeigt einen Querschnitt einer Anordnung eines Helms, einer Sensoranordnung und eines Referenzsystems, die in der Biomagnetometeranordnung der Fig. 18 verwendet wird;

[0034] Fig. 20 zeigt eine Draufsicht eines Schnittes durch einen Helm in Übereinstimmung mit einem Aspekt der vorliegenden Erfindung; und

[0035] Fig. 21 zeigt eine Ansicht entlang der Linie A-A der Fig. 20.

BESTE GEEIGNETE ART UND WEISE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0036] In der folgenden Abhandlung werden Großbuchstaben zur Bezeichnung tatsächlicher Felder und Gradienten (beispielsweise – B, G) verwendet und Kleinbuchstaben werden zur Bezeichnung der Ausgaben verschiedener Vorrichtungen wie beispielsweise Magnetometern verwendet (beispielsweise – b). Ferner deutet Fettschrift auf eine Vektorgröße hin, und normale Schrift deutet auf den Betrag des entsprechenden Vektors hin. Ein vorangestellter Exponent zeigt einen maßgeblichen Ort an (beispielsweise – ${}^{0}G$ steht für einen Gradiententensor am Ursprung O) und ein nachgestellter Exponent in Klammern steht für die Ordnung der Größe (beispielsweise – $G^{(1)}$ steht für einen Gradiententensor erster Ordnung eines Feldes und $g^{(1)}$ steht für die gemessenen Ausgaben eines Gradiometers erster Ordnung, die sämtlichen Komponenten des Tensors $G^{(1)}$ entsprechen. In der folgenden Abhandlung kann der Exponent, der die Ordnung angibt bei Gradiententensoren erster Ordnung und/oder Gradiometerausgaben weggelassen werden, d. h. $G = G^{(1)}$ und $g = g^{(1)}$. Außerdem stehen die nachgestellten Indizes eines Symbols für die Komponente einer gegebenen Größe, beispielsweise steht $G^{(1)}{}_{13}$ für die Komponente 1,3 des ersten Gradiententensors und $g^{(1)}{}_{13}$ steht für die gemessene Komponente 1,3 des ersten Gradiententensors.

[0037] Im Anhang A zeigt die Gleichung 1, dass das magnetische Feld B an einer Position u bezüglich des Ursprungs O durch eine Taylor-Reihenentwicklung gegeben ist, d. h., das magnetische Feld am Ursprung (${}^{0}B$) zuzüglich des Gradienten erster Ordnung am Ursprung (${}^{0}G^{(1)}$) projiziert auf u, zuzüglich der Hälfte des Gradienten zweiter Ordnung (${}^{O}G^{(2)}$) am Ursprung projiziert auf u, usw. Der Klarheit und Einfachheit halber werden in der folgenden Abhandlung die Gradiententerme höherer Ordnung nicht gezeigt. Obwohl dies nicht immer der Fall ist, wurde empirisch ermittelt, dass der Einfluss von Gradienten höherer Ordnung häufig vernachlässigt werden kann.

[0038] Die Gleichungen 2 bis 4 im Anhang A zeigen die ersten zwei Terme der Taylor-Reihenentwicklung von Gradienten erster, zweiter und dritter Ordnung an einem beliebigen Ort. Selbstverständlich erkennen die Fachleute, dass die Gleichungen für Gradienten vierter und höherer Ordnung ähnlich sind.

[0039] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können die Sensorgradiometer von beliebiger Ordnung sein, jedoch werden in der Praxis wegen Größenbeschränkungen und Punkten, die die Herstellung betreffen, Gradiometer Nullter, erster oder zweiter Ordnung bevorzugt. Wenn der Sensor in einer verhältnismäßig rauschfreien Umgebung eingesetzt werden soll, wie beispielsweise einem magnetisch abgeschirmten Raum, dann können Sensorgradiometer Nullter, erster oder zweiter Ordnung verwendet werden. Wenn die Sensoranordnung in einer Umgebung mäßigen Rauschens eingesetzt werden soll, dann können Gradiometer Nullter Ordnung nicht geeignet sein.

[0040] Die Fig. 1 zeigt die hier verwendeten Symbole für Gradiometersensoren Nullter Ordnung, erster Ordnung, und zweiter Ordnung, die Symbole, die zur Darstellung ihrer Ausgaben ($s^{(0)}$, $s^{(1)}$ und $s^{(2)}$) verwendet werden und Beispiele einiger möglicher Anordnungen dieser Sensoren. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Verwendung von Sensoren in einer speziellen Anordnung beschränkt, so dass radiale, planare oder andere Sensoranordnungen bei Bedarf ebenfalls verwendet werden können.

[0041] Die Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Gradiometersensors Nullter Ordnung. Der Sensor befindet sich bezüglich seines Ursprungs in einer Position u und umfasst eine einzelne Spule mit N Wicklungen. Der Sensor wird definiert durch den charakteristischen Einheitsvektor p, der rechtwinkelig auf der Spulenebene steht. Wenn das magnetische Feld B ist, dann ist einfach formuliert die Ausgabe $s^{(0)}$ des Sensors die Komponente von B, die rechtwinkelig zur Ebene der Sensorspule ist (das Skalarprodukt von B mit p), multipliziert mit der Verstärkung des Sensors und wird dargestellt durch die Gleichung 5 im Anhang A, wobei α_B die Verstärkung des Sensors ist. Anders ausgedrückt ist die Ausgabe des Sensors durch die Projektion des magnetischen Feldvektors in Richtung des Sensorspulenvektors p gegeben.

[0042] Die Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Gradiometersensors erster Ordnung mit zwei Sensorspulen, die durch die charakteristischen Einheitsspulenvektoren p_1 und p_2 dargestellt sind, die im wesentlichen entgegengesetzt zueinander sind ($p = p_1 = -p_2$) und jeweils eine Wicklungszahl N_1 bzw. N_2 besitzen. Jede Sensorspule befindet sich an einer Position, die durch die Positionsvektoren u_1, u_2 repräsentiert werden, und die zwei Spulen sind voneinander durch eine Gradiometergrundlinie getrennt, die durch den charakteristischen Grundlinienvektor d dargestellt ist. Die Ausgabe des Sensors $s^{(1)}$ ist durch die Differenz zwischen den Messungen der zwei Sensoren gegeben, wie durch die Gleichung 6 im Anhang A gezeigt ist, wobei α_G die Verstärkung des Sensors ist. Wenn der Ursprung in den Mittelpunkt von d verschoben wird und wenn $d = u_2 - u_1$ gesetzt wird, dann kann Gleichung 6, wie in Gleichung 7 im Anhang A gezeigt ist, umgeschrieben werden. Offensichtlich ist die Ausgabe des Sensors eine Projektion des ersten Gradiententensors in die Vektoren p und d.

[0043] Die **Fig.** 4a bis 4c zeigen drei von vielen anderen möglichen Anordnungen für Gradiometer erster Ordnung. Wie Fachleute erkennen werden, ist für das Gradiometer der **Fig.** 4a im Falle von d = d(0, 0, 1) und p = (0, 0, 1) die Ausgabe des Sensors $s^{(1)} = \alpha_{G1}(p \cdot G \cdot d) = \alpha_{G1} G_{33} \cdot d$. Für das Gradiometer der **Fig.** 4b ist im Falle von d = d(0, 1, 0) und p = (0, 0, 1) die Sensorausgabe gegeben durch $s^{(1)} = \alpha_{G1}(p \cdot G \cdot d) = \alpha_{G1} G_{23} \cdot d$. Ferner ist für das Gradiometer mit geneigten Spulen, wie es in der Fig. 4 dargestellt ist, im Falle von d = d(0, 0, 1) und beispielsweise $p = (0{,}1/\sqrt{2}{,}1/\sqrt{2})$ die Sensorausgabe $s^{(1)} = \alpha_{G1}(p \cdot G \cdot d) = (\alpha_{G1}/\sqrt{2})(G_{23} + G_{33}) \cdot d$. Wie in diesem letzten Beispiel gezeigt ist, ist die Sensorausgabe eine Mischung aus Gradientenkomponenten erster Ordnung.

[0044] Die Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Gradiometers zweiter Ordnung. Wie in der Fig. dargestellt ist, umfasst ein Gradiometer zweiter Ordnung im allgemeinen vier Spulen, die üblicherweise angeordnet sind, um zwei Gradiometer erster Ordnung zu bilden. Üblicherweise sind die charakteristischen Grundlinien d, d' zueinander parallel und die charakteristischen Spuleneinheitsvektoren p, p' sind gegensinnig. In solchen Fällen ist die Ausgabe jedes Gradiometers durch Gleichung 7 gegeben und unterstellt, dass d = d', dann ist die Ausgabe $s^{(2)}$ des Gradiometers zweiter Ordnung durch die Gleichung 8 im Anhang A gegeben. Aus Gleichung 2 kann, wenn u = u – u' gesetzt wird, und wenn eine ähnliche Ableitung für das verwendet wird was für Gleichung 7 verwendet wurde, die Ausgabe des Gradiometers zweiter Ordnung geschrieben werden wie in Gleichung 9 des Anhangs A gezeigt ist. Wie aus der Gleichung 9 erkannt werden kann, ist die Ausgabe des Gradiometers zweiter Ordnung eine Projektion des zweiten Gradiententensors in die charakteristischen Vektoren p, q und d, wobei p die Spulenausrichtung und q und d die Gradiometergrundlinien sind.

[0045] Wie bei Gradiometern erster Ordnung ist für Gradiometer zweiter Ordnung eine Vielzahl unterschiedlicher Anordnungen möglich, und die **Fig.** 6a bis 6c zeigen drei der möglichen Anordnungen. Die Fachleute werden erkennen, dass für die in der **Fig.** 6a gezeigte Anordnung, bei der p, q und d zueinander parallel sind und p = (0, 0, 1) ist, die Sensorausgabe $S^{(2)} = \alpha_{G2}(p \cdot G^{(2)} \cdot q \cdot d) = \alpha_{G2}(G_{333} \cdot q \cdot d)$ ist. Für die in der **Fig.** 6b gezeigte Anordnung, bei der p und q zueinander parallel und rechtwinkelig zu d sind, wobei p = (0, 0, 1) und d = d(0, 1, 0) ist, ist die Sensorausgabe $s^{(2)} = \alpha_{G2}(p \cdot G^{(2)} \cdot q \cdot d) = \alpha_{G2}(G233 \cdot q \cdot d)$. Für Anordnungen, wie sie beispielsweise in der **Fig.** 6c gezeigt sind, bei denen beispielsweise p parallel zu d ist, p = (0, 0, 1) und $q = q(0{,}1/\sqrt{2}{,}1/\sqrt{2})$, ist die Sensorausgabe $s^{(2)} = \alpha_{G2}(p \cdot G^{(2)} \cdot p \cdot d) = (\alpha_{G2}\sqrt{2})(G_{233} + G_{233}) \cdot q \cdot d$. Wie bei dieser letzten Anordnung gezeigt ist, ist die Ausgabe eine Mischung von Gradientenkomponenten zweiter Ordnung.

[0046] Während die obige Abhandlung auf Sensoren Nullter, erster und zweiter Ordnung beschränkt war, ist es für die Fachleute offensichtlich, dass bei Bedarf auch Sensoren höherer Ordnung verwendet werden können.

[0047] Um magnetische Messungen zu erzielen, die im wesentlichen mit jenen gleichwertig sind, die mit Sensoren höherer Ordnung erzielt werden würden, kombiniert die vorliegende Erfindung die Messungen, die mit den Sensoren erzielt wurden, mit Messungen, die mittels einer Referenzanordnung erzielt wurden. In Abhängigkeit der Ordnung der Messungen, die erzielt werden sollen, kann die Referenzanordnung ein Tensormagnetometer, ein Tensorgradiometer erster Ordnung und/oder ein Tensorgradiometer zweiter Ordnung und/oder ein Tensorgradiometer höherer Ordnung umfassen. Die **Fig.** 7a zeigt das hier verwendete Symbol um ein Tensormagnetometer darzustellen, und das verwendete Symbol um seine Ausgabe darzustellen, die **Fig.** 7b zeigt das hier verwendete Symbol um einen ersten Gradiententensor darzustellen, und das verwendete Symbol um seine Ausgabe darzustellen, und die **Fig.** 7c das hier verwendete Symbol um einen zweiten Gradiententensor darzustellen, und das verwendete Symbol um seine Ausgabe darzustellen.

[0048] Der hier verwendete Begriff "Tensorgradiometer" soll eine Referenzvorrichtung umfassen, die genügend Information zurückgibt, um die maßgeblich gemessene Charakteristik vollständig zu definieren, nämlich ob es sich um einen Gradienten Nullter Ordnung (drei Komponenten eines magnetischen Feldes) handelt, einen Gradienten erster Ordnung (zumindest fünf linear unabhängige Komponenten), einen Gradienten zweiter Ordnung (zumindest sieben linear unabhängige Komponenten), usw.

Gradientenmessungen erster Ordnung mittels eines Magnetometersensors

[0049] In der Fig. 8 ist eine bekannte Anordnung dargestellt, bei der ein Tensormagnetometer mit einem Magnetometersensor kombiniert wurde, um Messungen zu erzielen, die im wesentlichen den Messungen gleichwertig sind, die mit einem Gradiometer erzielt werden würden. Diese Anordnung projiziert die maßgeblichen Komponenten der magnetischen Messungen der Referenzanordnung auf p und kombiniert sie mit den Sensormessungen um eine Messung zu erzielen, die im wesentlichen der gleichwertig ist, die von einem Gradiometer erster Ordnung erzielt werden würde.

[0050] Die vorliegende Erfindung erweist sich dadurch als vorteilhaft, dass mit ihr Messungen zur Verfügung gestellt werden können, die im wesentlichen denen gleichwertig sind, die mit Gradiometern zweiter, dritter oder höherer Ordnung erzielt werden würden. Außerdem ist die vorliegende Erfindung, vorausgesetzt, dass die magnetische Messung zumindest zwei Ordnungen höher ist als die Ordnung der Sensorgradiometer, nicht speziell darauf beschränkt, dass sie Sensorgradiometer Nullter, erster, zweiter oder höherer Ordnung verwendet.

[0051] Um diese Vorteile und Merkmale bereitzustellen, verwendet die vorliegende Erfindung eine neue Referenzanordnung, die Tensorgradiometer Nullter, erster, zweiter oder höherer Ordnung umfassen kann, vorausgesetzt, dass für jede höhere Ordnung bis zu einer Ordnung weniger als die ausgewählte Ordnung ein Sensorgradiometer zur Verfügung gestellt ist. In der folgenden Abhandlung wurde angenommen, dass die Ausgaben der Tensorgradiometer der Referenzanordnung orthogonal zueinander sind. Im Falle, dass diese Ausgaben nicht orthogonal zueinander sein sollten, werden die Fachleute erkennen, dass bei Bedarf die Orthogonalisierung der Komponenten durchgeführt werden sollte.

[0052] Die **Fig.** 9a zeigt eine mögliche Referenztensormagnetometeranordnung, bei der drei wechselseitig zueinander orthogonale Sensorspulen um einen würfelförmigen Träger herumgewickelt sind. Die **Fig.** 9b zeigt eine andere mögliche Anordnung, bei der die drei wechselseitig zueinander orthogonalen Sensorspulen auf entsprechenden Oberflächen eines würfelförmigen Trägers angeordnet sind. Die **Fig.** 9c zeigt eine Anordnung, wie sie beispielsweise im US-Patent mit der Nr. 5,311,129 von Ludwig et al beschrieben ist, bei der drei Sensorspulen auf jeweils einer von drei Oberflächenseiten eines pyramidenförmigen Trägers angeordnet sind und somit nicht orthogonal zueinander sind. Die **Fig.** 9b zeigt den allgemeinen Fall, bei dem drei Sensorspulen im Raum verteilt sind.

[0053] Derzeit werden wechselseitig orthogonale Anordnungen zur Verwendung in der Referenzanordnung bevorzugt, da die sich ergebenden Messungen weniger kompliziert zu verarbeiten sind. Es sollte jedoch in Betracht gezogen, dass die zusätzliche Signalverarbeitung, die bei einer nicht orthogonalen Anordnung erforderlich wird, durch die Vorteile bei der Herstellung wett gemacht werden kann, vorausgesetzt, dass die Referenzanordnung mit planaren Spulen in Dünnfilmanordnungen hergestellt wird, wie sie beispielsweise bei Ludwig beschrieben wird.

[0054] Egal ob die Referenzanordnung der vorliegenden Erfindung eine orthogonale oder nicht orthogonale Anordnung verwendet, so sollte dringend erkannt werden, dass es nicht erforderlich ist, dass der Sensor mit einer der Achsen der Referenzanordnung ausgerichtet ist.

[0055] Die Gleichung 10 im Anhang A zeigt, wie die Ausgabe $s^{(1)}$ des Gradiometers erster Ordnung der bekannten Anordnung der Fig. 8 gebildet wird, indem die b_i, welche die drei orthogonalisierten Komponenten des magnetischen Feldes sind, das von dem Referenztensormagnetometer gemessen wurde, auf p projiziert wird und indem diese Werte mit der gemessenen Ausgabe $s^{(0)}$ des Sensors Nullter Ordnung kombiniert werden, nachdem die Verstärkungen des Sensors α_s und der Referenzanordnung α_D normiert worden sind. In dieser Gleichung wurde angenommen, dass die Verstärkung jedes b; dieselbe ist, jedoch kann der allgemeinere Fall leicht angepasst werden.

[0056] Die Gleichung 10 kann in Form einer Linearkombination der Ausgaben der Referenzanordnung umgeschrieben werden, wie in Gleichung 11 im Anhang A zum Ausdruck gebracht wird, wobei die Koeffizienten c als $c_j = (\alpha_s/\alpha_B)p_j$ definiert sind, wobei p_j die Komponenten von p sind.

Gradientenmessung zweiter Ordnung mittels eines Magnetometersensors

[0057] Die Fig. 10 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Magnetometers zu erzielen, die im wesentlichen einer Messung gleichwertig ist, die von einem Gradiometer zweiter Ordnung erzielt werden würde. Offensichtlich unterscheidet sich die Anordnung von der in der Fig. 8 dargestellten dadurch, dass die Referenzanordnung ein Tensorgradiometer Nullter Ordnung und ein Tensorgradiometer erster Ordnung umfasst.

[0058] Das Tensorgradiometer erster Ordnung der Referenzanordnung kann in unterschiedlicher Art und Weise hergestellt werden, von denen einige mögliche Anordnungen in den **Fig.** 11a bis 11d gezeigt sind. Die **Fig.** 11a zeigt eine Tensorgradiometeranordnung erster Ordnung, wobei die Gradiometerspulen um geeignete Abschnitte eines kreuzförmigen Trägers herumgewickelt sind. Die **Fig.** 11c zeigt eine Tensorgradiometeranordnung erster Ordnung, wie sie in dem oben erwähnten Patent von Ludwig beschrieben ist. Die **Fig.** 11d zeigt den allgemeinen Fall, bei dem die Tensorgradiometerspulen im Raum verteilt sind. Den Fachleuten werden ferner andere Anordnungen geläufig sein, die unter gewissen Umständen infolge gewisser Punkte, die die Herstellung oder Anordnung betreffen, bevorzugt werden können.

[0059] Bei der Ausführungsform der Fig. 10 ist es nicht erforderlich, dass die Achsen des Sensors mit irgendeiner Achse der Referenzanordnung zusammenfallen. Es ist tatsächlich nicht erforderlich, dass die Achsen des Tensormagnetometers den Achsen des Tensorgradiometers erster Ordnung der Referenzanordnung entsprechen. Es sollte jedoch erkannt werden, dass die Komplexität der Signale und die damit verbundenen Erfordernisse der Signalverarbeitung reduziert werden, wenn das Tensormagnetometer der Referenzanordnung und das Tensorgradiometer erster Ordnung aufeinander abgestimmt sind (wenn sie beispielsweise drei gemeinsame Achsen besitzen).

[0060] Bei dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Messungen, die von dem Magnetometersensor (Gradiometer Nullter Ordnung) erzielt werden, und die Messungen, die von dem Referenztensormagnetometer erzielt werden entsprechend kombiniert, um eine Gradiometermessung erster Ordnung zu erzielen, die dann entsprechend mit Messungen kombiniert wird, die von dem Tensorgradiometer erster Ordnung der Referenzanordnung erzielt wurden, um eine Messung zu erhalten, die im wesentlichen einer Messung gleichwertig ist, die von einem Gradiometersensor zweiter Ordnung erzielt werden würde. Im wesentlichen ist dieses Verfahren die Projektion der Ergebnisse des Referenztensormagnetometers und des Referenzgradiometers erster Ordnung in die charakteristischen Vektoren der Sensor- und Referenzanordnung (p, q, d).

[0061] Wie insbesondere in der Fig. 10 dargestellt ist, ist der Magnetometersensor (Gradiometer Nullter Ordnung) durch den Vektor p gekennzeichnet. Die Ausgaben des Referenztensormagnetometers sind mit dem Vektor b bezeichnet, und die Ausgaben des Referenzgradiometers erster Ordnung sind mit g_{ij} bezeichnet, wobei beispielsweise ij = (11, 12, 13, 22, 23, ...).

[0062] Dementsprechend wird die Gradiometermessung zweiter Ordnung gemäß Gleichung 12 in Anhang A erzielt, wobei α_s und α_B, wie zuvor definiert sind, α_{G1} die Verstärkung des Referenztensormagnetometers erster Ordnung ist, d die Grundlinie des gleichwertigen Gradiometers erster Ordnung ist, das aus den Ausgaben des Sensormagnetometers und des Referenzmagnetometers gebildet wird, und d_{G1} die Grundlinie des Referenztensormagnetometers erster Ordnung ist, die in diesem Beispiel als für alle Komponenten gleich angenommen wird.

[0063] In diesem speziellen Beispiel wurde zu Zwecken der Klarheit und der Einfachheit halber angenommen, dass die Verstärkungen jeder Komponente bei dem Tensormagnetometer und dem Tensorgradiometer erster

Ordnung dieselben sind, und dass ferner die Grundlinien des Tensorgradiometers erster Ordnung dieselben sind. Die Fachleute werden erkennen, dass dies nicht unbedingt der Fall sein muss, und dass die Gleichung 12 ohne weiteres umgeschrieben werden kann, um sie an unterschiedliche Verstärkungen oder Grundlinien anzupassen.

[0064] In der Gleichung 12 ist g die Ausgabe des Referenztensorgradiometers erster Ordnung und diese Anordnung ähnelt im wesentlichen der Anordnung des Gradientensensors $G^{(1)}$ erster Ordnung. Die Fachleute werden erkennen, dass ein Tensorgradient erster Ordnung vollständig mit fünf linearen unabhängigen Komponenten geschrieben werden kann. Die Ausgabe des Tensorgradiometers erster Ordnung kann dementsprechend ausgewählt werden, wovon eine mögliche Form in der Gleichung 13 des Anhangs A wiedergegeben ist. Nach allgemein üblicher Konvention werden diese fünf Komponenten hier als Vektor y bezeichnet, wobei $y = (g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{22}, g_{23})$. Dementsprechend kann die Gleichung 12 umgeschrieben werden, um die Ausgabe des Gradiometers zweiter Ordnung als Linearkombination der Referenzausgaben darzustellen, wie sie in Gleichung 14 des Anhangs A dargestellt ist. In der Gleichung 14 sind die Koeffizienten c wie zuvor definiert. Die Koeffizienten k werden abgeleitet, indem die Terme, die mit jedem der Terme y_i mit i = 1 bis 5 zusammenhängen, erfasst werden. Die Gleichungen 15 bis 19 des Anhangs A zeigen entsprechende k_i für das Beispiel mit $y = (g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{22}, g_{23})$. In diesen Gleichungen ist α_s die Verstärkung des Sensors, α_{Gij} ist die Verstärkung der Komponente ij des ersten Referenzgradiententensors, d_{ij} ist die Grundlinienlänge des Referenztensorgradiometers erster Ordnung, $d = (d_1, d_2, d_3)$ ist der Grundlinienvektor, der dem Sensor entspricht, und die Länge dieses Vektors ist d, und $p = (p_1, p_2, p_3)$ ist der charakteristische Spulenvektor des Sensors. Dies ist ein Beispiel, bei dem die α_G's und d_{G1}'s nicht alle gleich sind, und zur Verkürzung wurde d_{Gi} durch d_{ij} ersetzt.

Gradientenmessung zweiter Ordnung mittels eines Gradiometersensors erster Ordnung

[0065] Die Fig. 12 zeigt eine schematische Darstellung einer Anordnung zum Vergleich mit der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers erster Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen einer Messung gleichwertig ist, die von einem Gradiometer zweiter Ordnung erzielt werden würde.

[0066] Bei dieser Anordnung ist die Ausgabe des Sensors $s^{(1)}$ durch die Gleichung 7 gegeben und die gesuchte zweite Gradientenmessung $s^{(2)}$ wird wiederum erzielt, indem der Referenzgradiententensor erster Ordnung in die charakteristischen Vektoren p und d wie bei dem dritten Term der Gleichung 12 projiziert wird, und das Ergebnis mit der Sensorausgabe $s^{(1)}$ kombiniert wird. Wie zuvor kann der zweite Gradient $s^{(2)}$ durch eine Linearkombination der Ausgaben des Referenzgradiententensors erster Ordnung wie in der Gleichung 20 des Anhangs A ausgedrückt werden, wobei die Koeffizienten k jene aus den Gleichungen 15 bis 19 sind. Es ist ersichtlich, dass in den Gleichungen 15 bis 19 für unterschiedliche Verstärkungen und/oder Grundlinien Sorge getragen wurde.

Gradientenmessung dritter Ordnung mittels eines Magnetometersensors

[0067] Die Fig. 13 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers Nullter Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen einer Messung gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde. Offensichtlich unterscheidet sich die Anordnung von der in der Fig. 12 dargestellten durch die Hinzufügung eines Sensorgradiometers zweiter Ordnung zu der Referenzanordnung.

[0068] Das Referenztensorgradiometer zweiter Ordnung kann in unterschiedlicher Art und Weise hergestellt werden, von denen einige in den Fig. 14a bis Fig. 14g gezeigt sind. Den Fachleuten werden andere Anordnungen geläufig sein, die unter gewissen Umständen hinsichtlich gewisser Punkte, die die Herstellung oder die Anordnung betreffen, bevorzugt werden können. Es wird festgestellt werden, dass die Anordnungen der in den Fig. 14a und Fig. 14g gezeigten Tensorgradiometer zweiter Ordnung des Referenzsystems redundante Komponenten umfasst. Diese redundanten Komponenten sind vorgesehen, um Fehlertoleranzen zur Verfügung zu stellen, um so einen Fehler einer Komponente in der Referenzanordnung zu kompensieren. Die Balken (nicht kreuzförmig) der Fig. 14 stellen unvollständige Tensorgradiometer mit Komponenten dar, wie sie bei einer speziellen Anordnung des Referenztensorgradiometers benötigt werden.

[0069] Die Fig. 15 zeigt das Beispiel der Fig. 14a in vergrößerter Darstellung. Die Fachleute werden erkennen, dass die erforderlichen Tensorgradientenkomponenten zweiter Ordnung G_{ijk} mittels einer speziellen Anordnung beispielsweise wie folgt erzielt werden können:

$G_{111} = Q_{11} - P_{11}$

$G_{112} = G_{11} - R_{11}$

$G_{113} = Q_{13} - P_{13}$

$G_{122} = G_{12} - R_{12}$

$G_{123} = G_{13} - R_{13}$

$G_{222} = G_{22} - R_{22}$

$G_{223} = G_{23} - R_{23}$

[0070] Die erforderlichen Tensorgradientenkomponenten erster Ordnung werden entweder mittels der direkten Messungen erzielt oder werden künstlich mittels strategisch angeordneter Sensoren Nullter Ordnung hergestellt, und die Komponenten Nullter Ordnung werden mittels des Tensormagnetometers erzielt, das in dieser Anordnung umfasst ist.

[0071] Wie aus der obigen Beschreibung deutlich hervorgeht, ist es wie auch bei den anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nicht erforderlich, dass das Sensormagnetometer (Gradiometer Nullter Ordnung) mit irgendeiner Komponente der Referenzanordnung zusammen ausgerichtet ist, obwohl dies jedoch bevorzugt wird, um die Erfordernisse bei der Signalverarbeitung zu reduzieren.

[0072] Wie die Gleichung 13 zeigt, ist bei dieser Ausführungsform der Sensor ein Magnetometer, der durch einen charakteristischen Vektor p und eine Verstärkung charakterisiert ist. Die Gleichung 21 des Anhangs A kann in ähnlicher Art und Weise, wie sie zur Ableitung der Gleichung 12 verwendet wurde, für die Gradientenmessung dritter Ordnung abgeleitet werden. In dieser Gleichung, bei der α_B, α_{G1} und α_{G2} die Verstärkungen des Tensormagnetometers der Referenzanordnung, des Tensorgradiometers erster Ordnung und des Tensorgradiometers zweiter Ordnung sind. Ferner entspricht $g^{(1)}$ den Ausgaben des Sensorgradiometers erster Ordnung, wie in Gleichung 13, und $g^{(2)}$ entspricht den Ausgaben des Sensorgradiometers zweiter Ordnung. Wie die Fachleute erkennen werden, kann ein Tensorgradient zweiter Ordnung vollständig mit sieben linear unabhängigen Termen dargestellt und beispielsweise als ein Vektor r ausgedrückt werden, für den gilt $r = g^{(2)} = (g_{111}, g_{112}, g_{113}, g_{122}, g_{123}, g_{222}, g_{223})$. Der dritte Gradient $s^{(3)}$ lässt sich wie zuvor als Linearkombination der Ausgaben des Referenzgradiententensors zweiter Ordnung, der Ausgaben des Referenzgradiententensors erster Ordnung und der Ausgaben des Referenztensormagnetometers darstellen. Die Gradiometerausgabe dritter Ordnung kann dann mit Hilfe der Gleichung 22 des Anhangs A gebildet werden, bei der sich alle Parameter als wie zuvor beschrieben ergeben.

[0073] Bei der meist bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst das Referenztensorgradiometer zweiter Ordnung eine Anzahl Gradiometer erster Ordnung, die in Gruppen organisiert sind und Gradiententensoren erster Ordnung messen. Unter diesen Umständen kann der letzte Term der Gleichung 22 als eine einfachere Kombination dieser Gradiometerterme erster Ordnung umgeschrieben werden.

[0074] Es gibt eine sehr große Anzahl möglicher Anordnungen der Referenztensorgradiometer zweiter Ordnung. Bei der gegenwärtig bevorzugten Anordnung der **Fig. 15** umfasst das Referenztensorgradiometer zweiter Ordnung zwei Tensorgradiometer erster Ordnung und zwei teilweise bestückte Tensorgradiometer erster Ordnung. Wenn die Ausgaben dieser Tensorgradiometer als v, x, y und z bezeichnet werden, werden die Fachleute erkennen, dass sowohl v als auch x jeweils zwei linear unabhängige Komponenten aufweisen, wohingegen sowohl y als auch z jeweils fünf linear unabhängige Komponenten aufweisen.

[0075] Anschließend können wir mit den Koeffizienten k_j, die zuvor beschrieben wurden und in den Gleichungen 15 bis 19 gezeigt sind, geeignete Koeffizienten M_j, D_j, N_j, und T_j definieren, um die Gleichung 23 des Anhangs A zu erhalten.

[0076] Die Fachleute werden erkennen, dass andere Anordnungen der Referenzanordnung möglich sind. Beispielsweise kann das Referenztensormagnetometer entweder beabstandet oder aber auch an demselben Ort wie das Tensorgradiometer erster Ordnung angeordnet sein. Ebenso kann das Referenztensormagnetometer beabstandet oder an demselben Ort wie einige Elemente des Referenztensorgradiometers zweiter Ordnung angeordnet werden. In entsprechender Weise kann das Referenzgradiometer erster Ordnung beabstan-

det oder aber auch an demselben Ort wie einige Elemente des Referenzgradiometers zweiter Ordnung angeordnet werden. Beispielsweise ist in der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform, die in 15 gezeigt ist, das Referenztensormagnetometer bei dem Element G angeordnet, welches das Referenzgradiometer erster Ordnung ist. Außerdem bildet das Element G einen Teil des Referenzgradiometers zweiter Ordnung.

[0077] Wie aus der vorherigen Abhandlung ersichtlich wird, ermöglichen es die redundanten Elemente dem Referenzgradiometer zweiter Ordnung und/oder dem Referenzgradiometer erster Ordnung je nach Bedarf angeordnet zu werden (d. h. gebildet aus einem anders ausgewählten Elementsatz).

Gradientenmessung dritter Ordnung mittels eines Sensors erster Ordnung

[0078] Die Fig. 16 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers erster Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen der Messung gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde. Die Gradiometermessung dritter Ordnung kann in entsprechender Art und Weise gemäß Gleichung 21 erzielt werden, worin der zweite Term rechterseits des Gleichheitszeichens weggelassen wurde. Wie zuvor kann die dritte Gradientenmessung durch eine Linearkombination der Ausgaben der Referenzanordnung in ähnlicher Art und Weise gemäß Gleichung 23 ausgedrückt werden, wobei der zweite Term weggelassen wurde, was zur Gleichung 24 des Anhangs A führt, bei der alle Parameter wie zuvor definiert sind. Es ist wiederum nicht erforderlich, dass der Sensor, das Tensorgradiometer erster Ordnung oder das Tensorgradiometer zweiter Ordnung ausgerichtet oder an einem speziellen Ort im Verhältnis zueinander angeordnet sind.

Gradientenmessung dritter Ordnung mittels eines Sensors zweiter Ordnung

[0079] Die Fig. 17 zeigt zum Vergleich mit der vorliegenden Erfindung eine schematische Darstellung einer Anordnung, die verwendet wird, um eine magnetische Messung mittels eines Gradiometers zweiter Ordnung zu erzielen, die im wesentlichen der Messung gleichwertig ist, die mittels eines Gradiometers dritter Ordnung erzielt werden würde. Bei dieser Anordnung ist der Gradiometersensor zweiter Ordnung durch die charakteristischen Vektoren p, q, und d spezifiziert. Die Gradiometermessung dritter Ordnung wird somit in ähnlicher Weise, wie zuvor oben bereits diskutiert wurde, erzielt und führt zu Gleichung 25 des Anhangs A, bei der alle Parameter wie zuvor definiert sind.

[0080] Die Fachleute sollten erkennen, dass das zuvor beschriebene Verfahren und die entsprechende Anordnung bei Bedarf erweitert werden kann, um magnetische Messungen zu erzielen, die im wesentlichen denen gleichwertig sind, die mittels Gradiometern vierter oder höherer Ordnung erzielt werden würden.

[0081] Wie die Fachleute der obigen Abhandlung entnehmen werden, stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anordnung zur Verfügung, um magnetische Messungen mit einem Sensor einer zuvor definierten Ordnung zu erzielen, und um diese Messungen mit Messungen einer Referenzanordnung zu kombinieren, um Messungen zu erhalten, die im wesentlichen jenen gleichwertig sind, die mittels eines Sensors höherer Ordnung erzielt werden würden. Die Referenzanordnung stellt für jede der Ordnungen der zuvor definierten Sensoranordnung bis hin zu einer Ordnung weniger als die der gewünschten Ordnung der Messung eine Tensorinformation zur Verfügung. Beispielsweise würde die Referenzanordnung bei einer Anordnung mit Magnetometersensoren, wobei eine Messung dritter Ordnung erwünscht ist, ein Tensormagnetometer, ein Tensorgradiometer erster Ordnung und ein Tensorgradiometer zweiter Ordnung umfassen. Gemäß einem anderen Beispiel müsste die Referenzanordnung, wenn Gradiometersensoren erster Ordnung benutzt werden und eine Messung dritter Ordnung erwünscht wäre, nur ein Tensorgradiometer erster Ordnung und ein Tensorgradiometer zweiter Ordnung umfassen, obwohl es bei vielen Anordnungen erforderlich sein könnte, ein Tensormagnetometer für andere Zwecke mit zu umfassen.

[0082] In der obigen Abhandlung wurden optimale Vorrichtungen und Vorrichtungseigenschaften unterstellt. Obwohl dies in vielen Fällen eine nicht unrealistische Annahme ist, leiden Gradiometer und Magnetometer in gewisser Weise unter Imperfektionen und Fehlern. Da die Effekte dieser Fehler unter gewissen Umständen groß sein können, können sie durch die Einbindung von Korrekturkoeffizienten in den obigen relevanten Gleichungen kompensiert werden, wie es der Fachmann erkennen wird.

[0083] Die Fig. 18 zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einer 143 kanalförmigen Biomagnetometeranordnung **200**. Das System **200** umfasst ein Dewar **204**, das von einem Gestell **208** getragen wird, wobei das Dewar an seinem unteren Ende einen kopfförmigen Helm **216** bildet, und eine Unterstützung **220** für einen Patienten, die einen Patienten unterstützt, während dem sich der Kopf des Patienten in dem

Helm **216** befindet.

[0084] Das Dewar **204** umfasst ein Array **212** von Gradiometersensoren, die um den Helm **216** herum angeordnet sind, und eine Referenzanordnung **224** oberhalb des Helmes **216**. Die SQUIDs, die zu dem Sensorarray **212** gehören, und die Referenzanordnung **224** sind oberhalb der Referenzanordnung **224** innerhalb des Dewars **204** angeordnet, das mit einem Kältemittel (flüssiges Helium als Niedertemperatursupraleiter oder flüssiger Stickstoff als Hochtemperatursupraleiter) während des Betriebs gefüllt ist. Da die Messungen, die sowohl von dem Gradiometersensorarray **212** als auch von der Referenzanordnung **224** erzielt werden, hinsichtlich mechanischer Erschütterungen anfällig sind, ist das Gestell **208** so konstruiert, um Erschütterungen zu minimieren und um eine verhältnismäßig hohe charakteristische Frequenz aufzuweisen. Wie die Fachleute selbstverständlich erkennen werden, wird das Gestell **208** auf verschiedene Charakteristika für unterschiedliche biomagnetische Quellen wie beispielsweise Herzmessungen abgestimmt sein. Die Konstruktion solch eines Gestells ist nicht speziell limitiert und den Fachleuten werden unterschiedliche Verfahren und Konstruktionen in den Sinn kommen.

[0085] Die Ausgaben **228** der Sensoren und der Referenzanordnung werden auf ein gewünschtes Level mittels eines SQUID-Vorverstärkers **232** verstärkt und die daraus resultierenden Signale **236** werden von einer Systemelektronik **240** verarbeitet.

[0086] Die Systemelektronik **240** umfasst eine Vielzahl von SQUID-Controllern und Analog-Digital-(A/D)-Umwandlungsmitteln, um die Signale **236** in digitale Werte umzuwandeln, und eine Vielzahl von digitalen Signalprozessoren (DSPs), um die gewünschte Verarbeitung dieser digitalen Werte vorzunehmen. Bei der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform werden Texas Instruments TMS320 DSP-Prozessoren verwendet, um diese digitalen Werte zu verarbeiten. Bei der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform, jeder der DSP-Prozessorsignale von bis zu acht Sensoren des Sensorarrays **212**, und dies stellt eine ausreichende Verarbeitungsgeschwindigkeit zur Verfügung, um Echtzeitsignalverarbeitung dieser Signale zu ermöglichen.

[0087] Sobald die resultierenden Signale verarbeitet sind, werden sie an einen Erfassungscomputer **244** und einen Verarbeitungscomputer **248** für eine geeignete Kommunikationsverbindung wie beispielsweise ein SCSI-Interface weitergeleitet. Bei der gegenwärtigen bevorzugten Ausführungsform sind der Erfassungscomputer **244** und der Verarbeitungscomputer **248** unterschiedliche Computersysteme, jedoch könnten sie unter gewissen Umständen zu einem einzigen Computersystem kombiniert werden.

[0088] Der Erfassungscomputer **244** und der Verarbeitungscomputer **248** können irgendein geeignetes Computersystem mit graphischen Workstationfähigkeiten sein, wie beispielsweise eine entsprechend ausgestattete Unix-basierte Workstation oder ein Mitglied der Macintosh-Mikrocomputerfamilie, die von Appel hergestellt wird. Der Erfassungscomputer **244** führt verschiedene Aufgaben durch einschließlich der Abstimmung von SQUIDs, Datenzusammenstellung und Speicherung und Steuerung optionaler Peripheriegeräte wie beispielsweise Impuls- und EEG-Systeme. Der Verarbeitungscomputer **248** führt eine Offline-Datenverarbeitung gespeicherter Daten durch und zeigt Echtzeit oder gespeicherte Daten an. Wie die Fachleute erkennen werden, kann der Verarbeitungscomputer **248** ebenfalls Daten des Biomagnetometers mit anderen Daten wie beispielsweise MRI- oder CAT-Scans kombinieren, um eine graphische Anzeige zu erzeugen, die einfacher interpretiert werden kann.

[0089] Außerdem können EEG- oder andere Daten, die von Interesse sind, gleichzeitig mit den Messungen gesammelt werden, die von dem Sensorarray **212** und der Referenzanordnung **224** durchgeführt wurden, und in der bevorzugten Ausführungsform umfasst die Systemelektronik **240** 64 Kanäle, über welche diese Eingaben zugeführt werden können.

[0090] In der Ausführungsform der Fig. 18 ist das Sensorarray **212** aus Gradiometersensoren erster Ordnung zusammengesetzt. Einer der Vorteile der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass durch die Kombination der Referenzanordnung mit einer Vielzahl von Sensoren die effektive Ordnung dieser Sensoren auf eine zweite, dritte oder höhere Ordnung erhöht werden kann (vorausgesetzt, dass die Referenzanordnung für jede Ordnung der Sensorordnung bis auf eine Ordnung weniger als die Ordnung der erwünschten Messung ein Tensorgradiometer umfasst), indem lediglich die Signale des Sensors und der Referenzanordnung in geeigneter Weise kombiniert und verarbeitet werden. Bei Bedarf kann die effektive Ordnung der gemessenen Signale tatsächlich wie gewünscht verändert werden, um Signalunterschiede zu erkennen. Diese Änderung kann bei Signalen, die in Echtzeit verarbeitet werden, in Echtzeit vorgenommen werden, oder kann auch Offline auf zuvor erhaltene und gespeicherte Signale angewendet werden.

[0091] Ein anderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass Anordnungen, wie die, die beispielsweise in der Fig. 18 dargestellt sind, Gradiometersensoren erster Ordnung verwenden können, wenn sie in einem mäßig magnetisch abgeschirmten Raum angeordnet sind, und durch die hier beschriebene Signalverarbeitung Ergebnisse erhalten werden, die ansonsten einem magnetisch stark abgeschirmten Raum erforderlich machen. Somit können die mit der Abschirmung einer Seite verbundenen Kosten bei solchen Anordnungen reduziert werden. Wenn die Anordnung in einer Umgebung verwendet wird, die weniger starkem magnetischem Rauschen unterworfen ist, wie bei einem stark abgeschirmten Raum, dann kann die Anordnung bei Bedarf Magnetometersensoren verwenden.

[0092] Die Fig. 19 zeigt den Helm **216**, das Sensorarray **212**, die Referenzanordnung **224** und einen Abschnitt des Dewars **204** in einer vergrößerten Darstellung. Wie hier dargestellt ist, wird der Helm **216** aus zwei voneinander beabstandeten im wesentlichen parallelen Wandlungen **249**, **250** gebildet, die dazwischen einen Vakuumraum bilden. Jeder der Sensorgradiometer **252**, die das Sensorarray **212** bilden, ist an der Wandung **250** des Helmes **216** befestigt und die Wandung **249** ist so geformt, um einen menschlichen Kopf aufzunehmen. Der Helm **216** ist so geformt, dass jeder Sensor **252** sehr nahe an der Oberfläche des darin befindlichen menschlichen Kopfes angeordnet ist. Während eines Versuchs einen guten Sitz des Helms **216** für eine Vielzahl menschlicher Köpfe sicherzustellen, wurde herausgefunden, dass unterschiedliche Helme zusammen mit anthropometrischen Linien für Biomagnetometeranordnungen konstruiert werden können, die für die Verwendung bei unterschiedlichen Rassen geeignet sind.

[0093] Die Fig. 20 und Fig. 21 zeigen einen Helm in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. In den Fig. bezeichnet die Dimension F die Helmtiefe von vorne nach hinten, die Dimension G bezeichnet die Helmhöhe, und die Dimension H bezeichnet die Helmbreite. Um einen besseren Sitz des Helms sicherzustellen, sind ebenfalls Ohrkanäle **300** zur Aufnahme der Ohren vorgesehen, wobei ein besserer Sitz für den Rest des Schädels gewährleistet wird. Bei einer bevorzugten Form wurde herausgefunden, dass die Dimension F ungefähr 230 mm, die Dimension G ungefähr 220 mm, und die Dimension H ungefähr 190 mm beträgt.

[0094] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben einen Helm auf Basis anthropometrischer Informationen konstruiert, die von Dr. D. Racansky vom Institut für biomedizinisches Ingenieurwesen der Universität von Toronto zur Verwendung bei Abendländern zur Verfügung gestellt wurden, der eine Dimension F von ungefähr 213 mm, eine Dimension G von ungefähr 186 mm, und eine Dimension H von ungefähr 161 mm, aufweist.

[0095] Infolge von Informationen, die vom japanischen Militär zur Verfügung gestellt wurden, haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung ferner einen Helm **216** zur Verwendung bei Orientalen konstruiert. Dieser Helm besitzt eine Dimension F von ungefähr 203 mm, eine Dimension G von ungefähr 178 mm, und eine Dimension H von ungefähr 172 mm. Selbstverständlich sind sich die Fachleute anderer Größen und/oder geänderter Formen bewusst, die als von diesen Abhandlungen nicht ausgeschlossen gelten.

[0096] Bei der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Helm **216** um einen Winkel von 15 Grad bezüglich der Achse des Dewars **204** geneigt. Insbesondere ist der Helm **216** so geneigt, dass die Vorderpartie des Helms angehoben ist und die Hinterpartie abgesenkt ist, was zu einem verbesserten "Sitz" zwischen dem Helm und dem Kopf der Versuchsperson führt.

[0097] Im Lichte der obigen Ausführungen werden die Fachleute erkennen, dass die vorliegende Erfindung ein neues Verfahren und ein neues System zur Erzielung von Gradiometermessungen höherer Ordnung mit Gradiometern niedrigerer Ordnung zur Verfügung stellt. Dies wird erzielt, indem Messungen, die von Sensorgradiometern einer gegebenen Ordnung erzielt werden, mit Messungen, die mittels einer Referenzanordnung erzielt werden, geschickt kombiniert werden, wobei die Referenzanordnung für jede Ordnung der Sensorordnung bis zu einer Ordnung weniger als die gewünschte Ordnung ein Sensorgradiometer umfasst. Die vorliegende Erfindung erlaubt es, die gewünschte Ordnung entweder mittels Echtzeit-Onlinedaten oder mittels gespeicherten Offlinedaten zu verändern.

Anhang A

$$^{u}B = {}^{o}B + {}^{o}G^{(1)} \cdot u + \frac{1}{2} \cdot {}^{o}G^{(2)} \cdot u \cdot u + \ldots \qquad (1)$$

$$^{u}G^{(1)} = {}^{o}G^{(1)} + {}^{o}G^{(2)} \cdot u + \ldots \qquad (2)$$

$${}^{u}G^{(2)} = {}^{o}G^{(2)} + {}^{o}G^{(3)}\cdot u + \ldots \quad (3)$$

$${}^{u}G^{(3)} = {}^{o}G^{(3)} + {}^{o}G^{(4)}\cdot u + \ldots \quad (4)$$

$$s^{(0)} = \alpha_B\cdot(p\cdot B) \quad (5)$$

$$S^{(1)} = \alpha_G\cdot(p\cdot{}^{u1}B - p\cdot{}^{u2}B) \quad (6)$$

$$s^{(1)} = \alpha_G\cdot p\cdot G^{(1)}\cdot d \quad (7)$$

$$s^{(2)} = \alpha_{G2}\cdot(p\cdot{}^{u}G^{(1)}\cdot d - p\cdot{}^{u'}G^{(1)}\cdot d) \quad (8)$$

$$s^{(2)} = \alpha_{G2}\cdot p\cdot G^{(2)}\cdot q\cdot d \quad (9)$$

$$s^{(1)} = s^{(0)} - \frac{\alpha_s}{\alpha_B}\cdot(p\cdot b) \quad (10)$$

$$s^{(1)} = s^{(0)} - c_1\cdot b_1 - c_2\cdot b_2 - c_3\cdot b_3 \quad (11)$$

$$s^{(2)} = s^{(0)} - \frac{\alpha_s}{\alpha_B}\cdot(p\cdot b) - \frac{\alpha_s}{\alpha_{G1}}\cdot\frac{1}{d_{G1}}\cdot p\cdot g\cdot d \quad (12)$$

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{12} & g_{22} & g_{23} \\ g_{13} & g_{23} & -g_{11}-g_{22} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$s^{(2)} = s^{(0)} - \sum_{j=1}^{3} c_j \cdot b_j - \sum_{j=1}^{5} k_j \cdot y_j \qquad (14)$$

$$k_1 = \frac{\alpha_s}{\alpha_{G11}} \cdot \frac{1}{d_{11}} \cdot (p_1 \cdot d_1 - p_3 \cdot d_3) \qquad (15)$$

$$k_2 = \frac{\alpha_s}{\alpha_{G_{12}}} \cdot \frac{1}{d_{12}} \cdot (p_1 \cdot d_2 + p_2 \cdot d_1) \qquad (16)$$

$$k_3 = \frac{\alpha_s}{\alpha_{G_{13}}} \cdot \frac{1}{d_{13}} \cdot (p_1 \cdot d_3 + p_3 \cdot d_1) \qquad (17)$$

$$k_4 = \frac{\alpha_s}{\alpha_{G_{22}}} \cdot \frac{1}{d_{22}} \cdot (p_2 \cdot d_2 - p_3 \cdot d_3) \qquad (18)$$

$$k_5 = \frac{\alpha_s}{\alpha_{G_{23}}} \cdot \frac{1}{d_{23}} \cdot (p_2 \cdot d_3 + p_3 \cdot d_2) \qquad (19)$$

$$s^{(2)} = s^{(1)} - \sum_{j=1}^{5} k_j \cdot y_j \qquad (20)$$

$$s^{(3)} = s^{(0)} - \frac{\alpha_s}{\alpha_B} \cdot (p \cdot b) - \frac{\alpha_s}{\alpha_{G1}} \cdot \frac{1}{d_{G_1}} \cdot p \cdot g^{(1)} \cdot d - \frac{\alpha_s}{\alpha_{G2}} \cdot \frac{1}{d_{G1}} \cdot \frac{1}{q_{G2}} \cdot p \cdot g^{(2)} \cdot q \cdot d \qquad (21)$$

$$s^{(3)} = s^{(0)} - \sum_{j=1}^{3} c_j \cdot b_j - \sum_{j=1}^{5} k_j \cdot y_j - \sum_{j=1}^{7} h_j \cdot g_j \qquad (22)$$

$$s^{(3)} = s^{(0)} - \sum_{j=1}^{3} c_j \cdot b_j - \sum_{j=1}^{5} k_j \cdot g_j^{(1)} - \sum_{j=1}^{2} M_j \cdot x_j - \sum_{j=1}^{5} D_j \cdot y_j - \sum_{j=1}^{5} N_j \cdot z_j + \sum_{j=1}^{2} T_j \cdot v_j \qquad (23)$$

$$s^{(3)} = s^{(1)} - \sum_{j=1}^{5} k_j \cdot g_j^{(1)} - \sum_{j=1}^{2} M_j \cdot x_j - \sum_{j=1}^{5} D_j \cdot y_j - \sum_{j=1}^{5} N_j \cdot z_j + \sum_{j=1}^{2} T_j \cdot v_j \qquad (24)$$

$$s^{(3)} = s^{(2)} - \sum_{j=1}^{2} M_j \cdot x_j - \sum_{j=1}^{5} D_j \cdot y_j - \sum_{j=1}^{5} N_j \cdot z_j + \sum_{j=1}^{2} T_j \cdot v_j \qquad (25)$$

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhaltung einer magnetischen Messung, die im wesentlichen dem gleichwertig ist, was von einem Gradiometer einer gewählten Ordnung, die gleich der zweiten oder höheren Ordnung ist, erhalten werden würde, wobei die magnetische Messung um mindestens zwei Ordnungen höher als eine vorhandene bestimmte Ordnung des wenigstens einen Mess-Gradiometers ist, das vom Messsystem (**200**) verwendet wird, die Schritte umfassend:
(i) Anordnen des Mess-Gradiometers in einer ersten Stellung,
(ii) Anordnen eines Referenzsystems (**224**), das von der ersten Stellung beabstandet ist, wobei das Referenzsystem (**224**) mindestens ein Tensor-Gradiometer (B) der vorhandenen Ordnung umfasst und ein Signal, das für ein Tensor-Gradiometer charakteristisch ist, für jede höhere Ordnung bis zu einer Ordnung weniger als die ausgewählte Ordnung bereitstellt, so dass ein Tensor für jede der Ordnungen von dem Referenzsystem (**200**) ermittelt werden kann,
(iii) Ermitteln des Tensors jeder Ordnung des Referenzsystems (**224**),
(iv) Ermitteln eines Satzes von charakteristischen Vektoren (p, q, d) des Mess-Gradiometers bezüglich des Referenzsystems (**224**),
(v) Messen des Ausgangs des Mess-Gradiometers,
(vi) Projizieren jedes ermittelten Tensors des Referenzsystems (**224**) auf den Satz charakteristischer Vektoren (p, q, d) des Mess-Gradiometers und Kombinieren des Ergebnisses der Projektion mit dem gemessenen Ausgang (**228**), um die magnetische Messung zu bilden, die im wesentlichen dem gleichwertig ist, was von dem Messgerät der ausgewählten Ordnung erhalten werden würde.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, das enthält, die Schritte (iii) bis (vi) für jedes einer Vielzahl von Mess-Gradiometern der vorhandenen Ordnung zu wiederholen.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die vorhandene Ordnung die Nullte Ordnung ist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die vorhandene Ordnung die erste Ordnung ist.

5. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die vorhandene Ordnung die zweite Ordnung ist.

6. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei Schritt (vi) ausgeführt wird, indem ein Satz von linear unabhängigen Komponenten (g) jedes ermittelten Tensors des Referenzsystems (**224**) auf den Satz der charakteristischen Vektoren (p, q, d) jedes einer Vielzahl von Mess-Gradiometern projiziert wird und indem die Ergebnisse der Projektion mit den gemessenen Ausgängen (**228**) durch lineare Operationen kombiniert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei jeder Satz von linear unabhängigen Komponenten (g) jedes ermittelten Tensors ein minimaler Satz der Komponenten (g) ist.

8. System (**200**) zur Erhaltung magnetischer Messungen, die im wesentlichen dem gleichwertig sind, was von einem Gradiometer einer ausgewählten Ordnung erhalten werden würde, die gleich der zweiten oder höheren Ordnung ist, und um mindestens zwei Ordnungen höher ist als eine bestimmte Ordnung des mindestens einen Mess-Gradiometers, das vom System (**200**) verwendet wird, umfassend:
(i) mindestens ein Mess-Gradiometer der bestimmten Ordnung, das einen gemessenen Ausgang erzeugt,
(ii) ein Referenzsystem (**224**), das von dem zumindest einen Mess-Gradiometer beabstandet ist, wobei das Referenzsystem (**224**) mindestens ein Tensor-Gradiometer (B) der bestimmten Ordnung umfasst und ein Signal, das für ein Tensor-Gradiometer charakteristisch ist, für jede höhere Ordnung bis zu einer Ordnung weniger als die ausgewählte Ordnung bereitstellt, so dass ein Tensor für jede der Ordnungen von dem Referenzsystem (**200**) ermittelt werden kann,
(iii) eine Signalverarbeitungseinrichtung (**246**) zum Ermitteln eines Satzes charakteristischer Vektoren (p, q, d) von dem mindestens einen Mess-Gradiometer bezüglich des Referenzsystems (**200**), wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (**240**) einen Ausgang (**228**) jedes der Tensor-Gradiometer (B) des Referenzsystems (**224**) auf den Satz charakteristischer Vektoren des mindestens einen Mess-Gradiometers projiziert und das Ergebnis der Projektion mit dem gemessenen Ausgang (**228**) kombiniert, um die magnetische Messung zu bilden, die im wesentlichen dem gleichwertig ist, was von dem Sensor der gewählten Ordnung erhalten werden würde.

9. System gemäß Anspruch 8, das eine Vielzahl von Mess-Gradiometern umfasst.

10. System gemäß Anspruch 9, wobei die vorhandene Ordnung der Vielzahl von Mess-Gradiometern die Nullte Ordnung ist.

11. System gemäß Anspruch 9, wobei die vorhandene Ordnung der Vielzahl von Mess-Gradiometern die erste Ordnung ist.

12. System gemäß Anspruch 9, wobei die vorhandene Ordnung der Vielzahl von Mess-Gradiometern die zweite Ordnung ist.

13. System gemäß Anspruch 8 zur Erhaltung von biomagnetischen Messungen, das eine Vielzahl von Mess-Gradiometern der bestimmten Ordnung umfasst.

14. System (**200**) gemäß Anspruch 13, das zudem einen Helm (**216**) umfasst, um welchen die Vielzahl von Mess-Gradiometern (**252**) in Form eines Arrays (**212**) angeordnet ist, wobei der Helm (**216**) geformt ist, um einen menschlichen Kopf aufzunehmen.

15. System (**200**) gemäß Anspruch 14, wobei der Helm (**216**) ein Volumen umfasst, das von Ausmaßen einschließlich einer Tiefe von vorne bis hinten von ungefähr 230 mm, einer Höhe von ungefähr 220 mm und einer Weite von ungefähr 190 mm definiert ist.

16. System (**200**) gemäß Anspruch 14, wobei der Helm (**26**) als ein Ende eines Dewar-Gefäßes (**204**) gebildet ist, das die Vielzahl von Mess-Gradiometern (**252**) und das Referenzsystem (**224**) umfasst, wobei das Dewar-Gefäß (**204**) bei Benutzung ein Kühlmittel enthält.

17. System (**200**) gemäß Anspruch 16, wobei das Dewar-Gefäß (**204**) von einem Gestell (**208**) getragen ist.

18. System (**200**) gemäß Anspruch 13, wobei die genannte Verarbeitungseinrichtung (**240**) eine Vielzahl von Signalverarbeitungsgeräten umfasst, wobei jedes der Vielzahl von Signalverarbeitungsgeräten Signale von mehr als einem der Mess-Gradiometer (**252**) verarbeitet.

19. System (**200**) gemäß Anspruch 13, das zudem EEG-Eingangsmittel (**240**) umfasst.

20. System (**200**) gemäß Anspruch 13, wobei die digitalisierten Messsignale zum rechnerunabhängigen Verarbeiten gespeichert werden.

21. System gemäß Anspruch 20, wobei die gewählte Ordnung ausgewählt wird, nachdem die digitalisierten Messsignale gespeichert werden.

22. System gemäß Anspruch 19, wobei die EEG-Eingangsmittel (**240**) gleichzeitig von der Vielzahl von Mess-Gradiometern und von den Tensor-Gradiometern (B) aufgenommene EEG-Messungen sammeln.

23. Verfahren gemäß Anspruch 6, wobei Schritt (iii) ausgeführt wird, indem der Satz linear unabhängiger Komponenten (g) jedes ermittelten Tensors des Referenzsystems (**200**) ermittelt wird.

24. System gemäß Anspruch 9, wobei das Referenzsystem (**224**) den ermittelten Tensor mindestens zwei der Vielzahl von Mess-Gradiometern zur Verfügung stellt.

25. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Mess-Gradiometer in einer willkürlichen räumlichen Anordnung bezüglich einer Komponente des Referenzsystems (**224**) angeordnet ist.

26. System gemäß Anspruch 8, wobei das mindestens eine Mess-Gradiometer in einer willkürlichen räumlichen Anordnung bezüglich einer Komponente des Referenzsystems (**228**) angeordnet ist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Magnetometer

Beispiel: 

Symbol: 

$S^{(0)}$

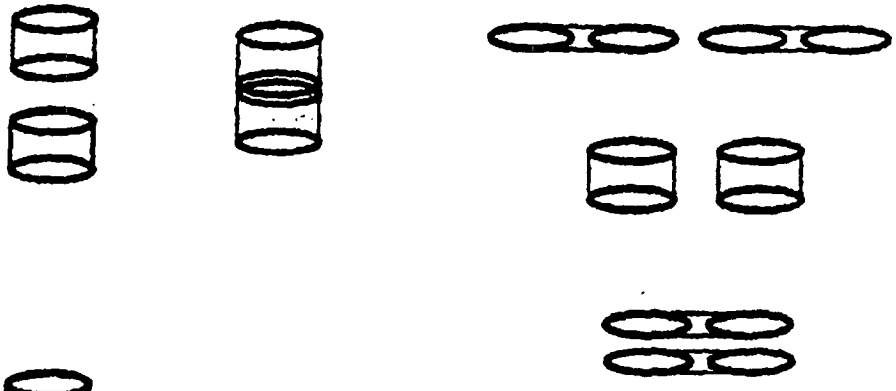
Gradiometer erster Ordnung

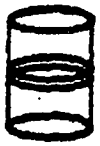
Beispiele: 

Symbol: 

$S^{(1)}$

Gradiometer zweiter Ordnung

Beispiele: 

Symbol: 

$S^{(2)}$

Fig. 1

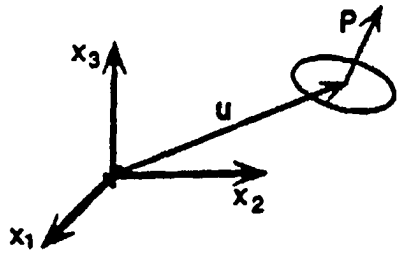


Fig. 2

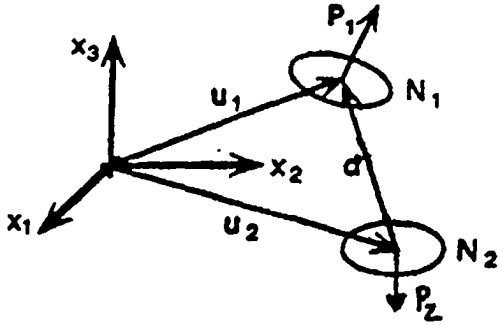


Fig. 3

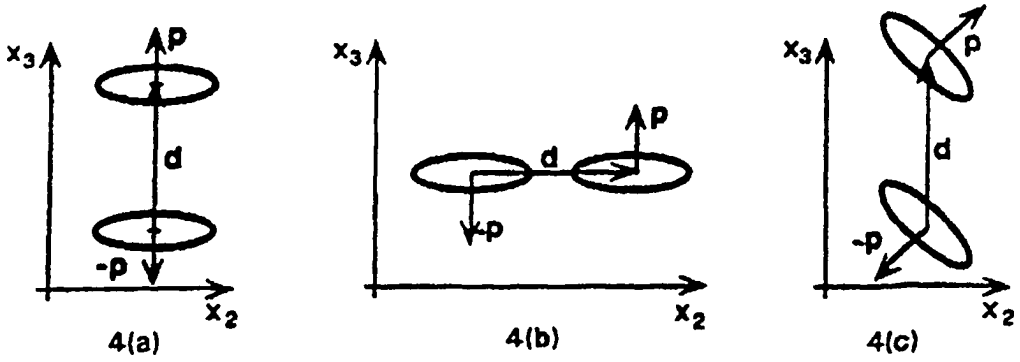


Fig. 4

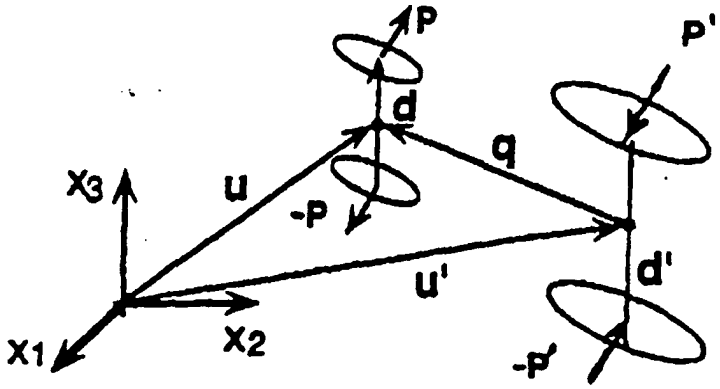


Fig. 5

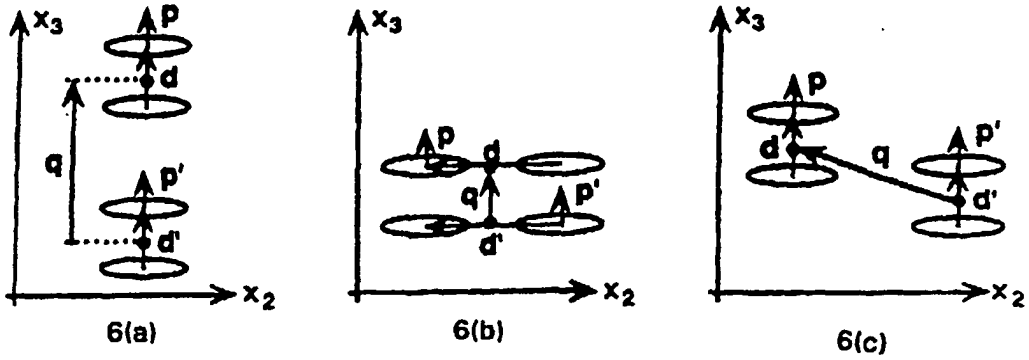


Fig. 6

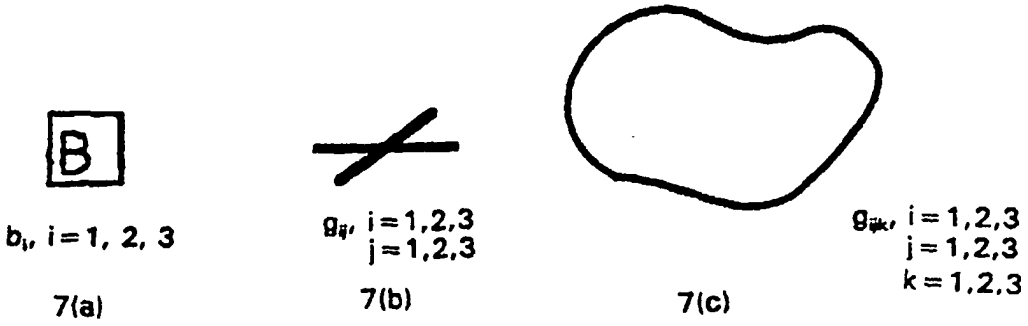
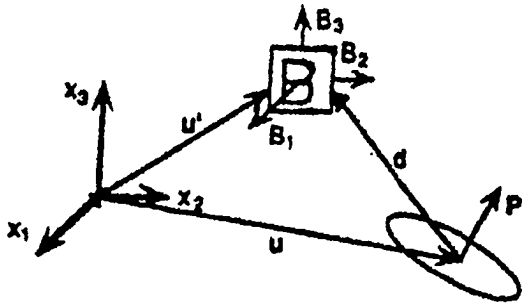


Fig. 7



(Stand der Technik) Fig. 8

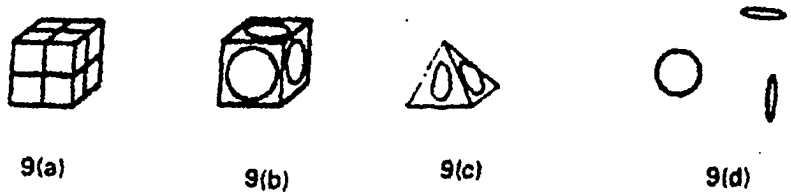


Fig. 9

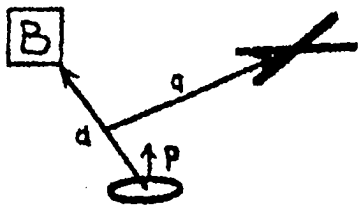


Fig. 10

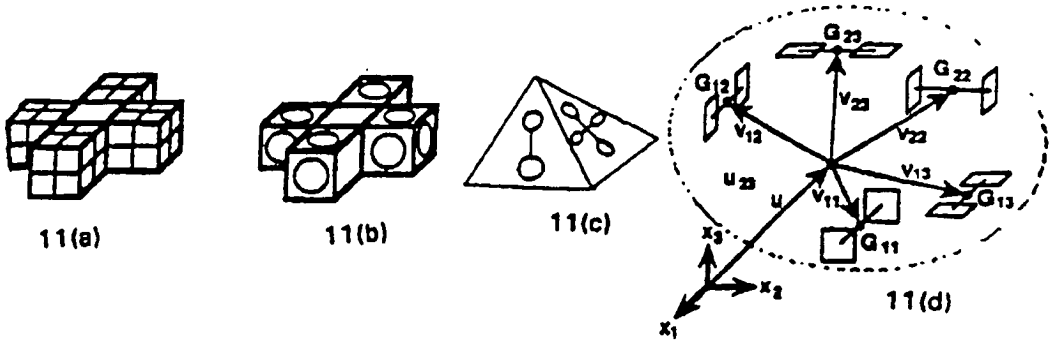


Fig. 11

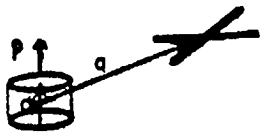


Fig. 12

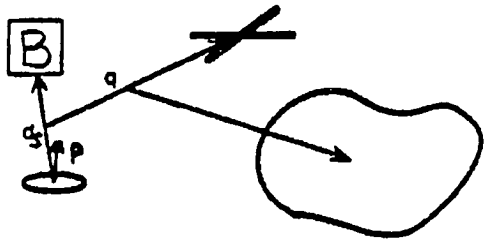


Fig. 13

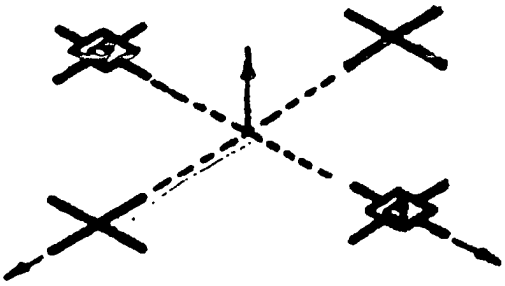


Fig. 14a

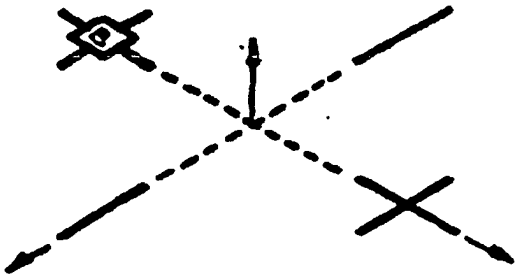


Fig. 14b

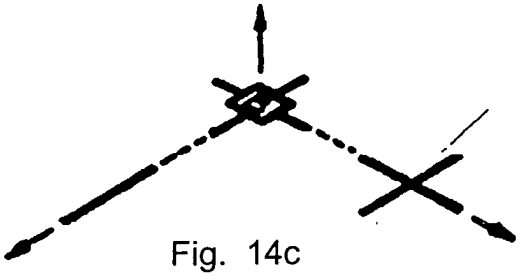


Fig. 14c

Fig. 14d

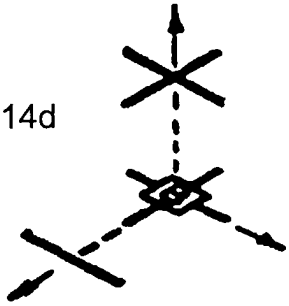


Fig. 14e

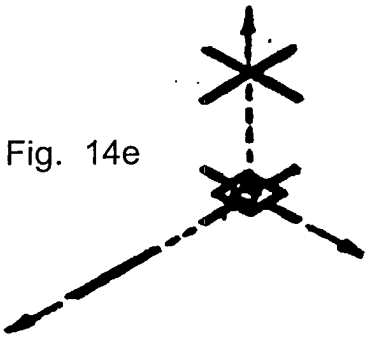


Fig. 14f

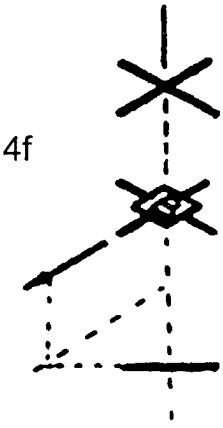


Fig. 14g

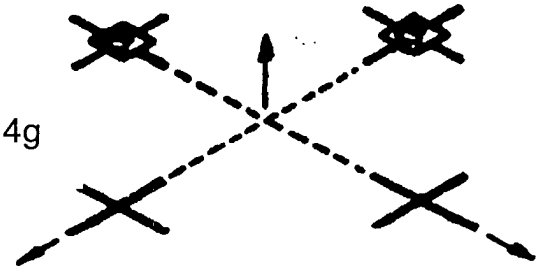


Fig. 14

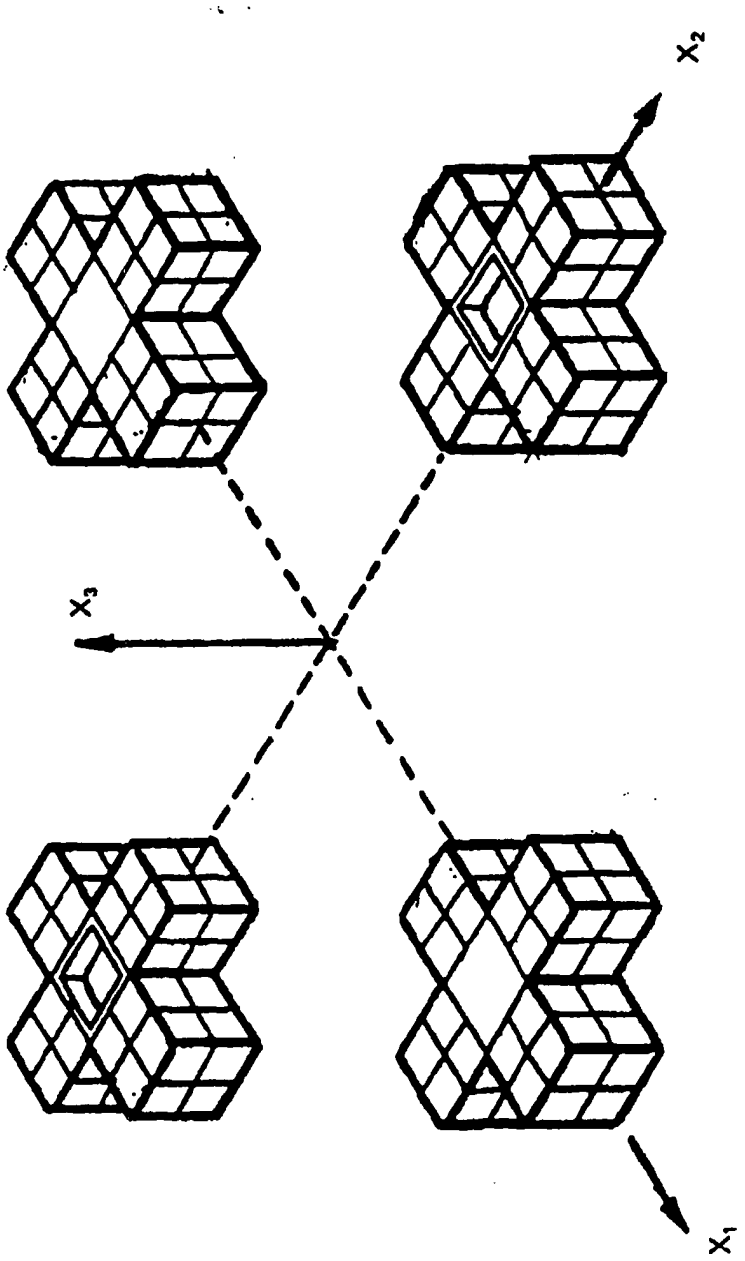


Fig. 15

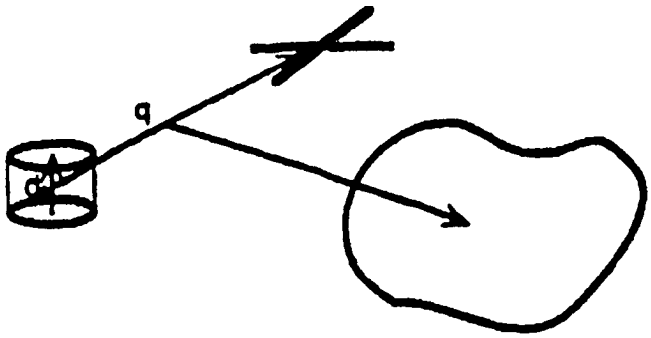


Fig. 16

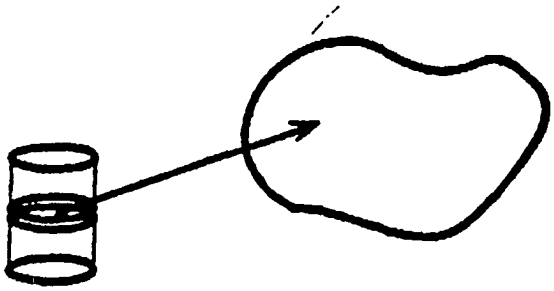


Fig. 17

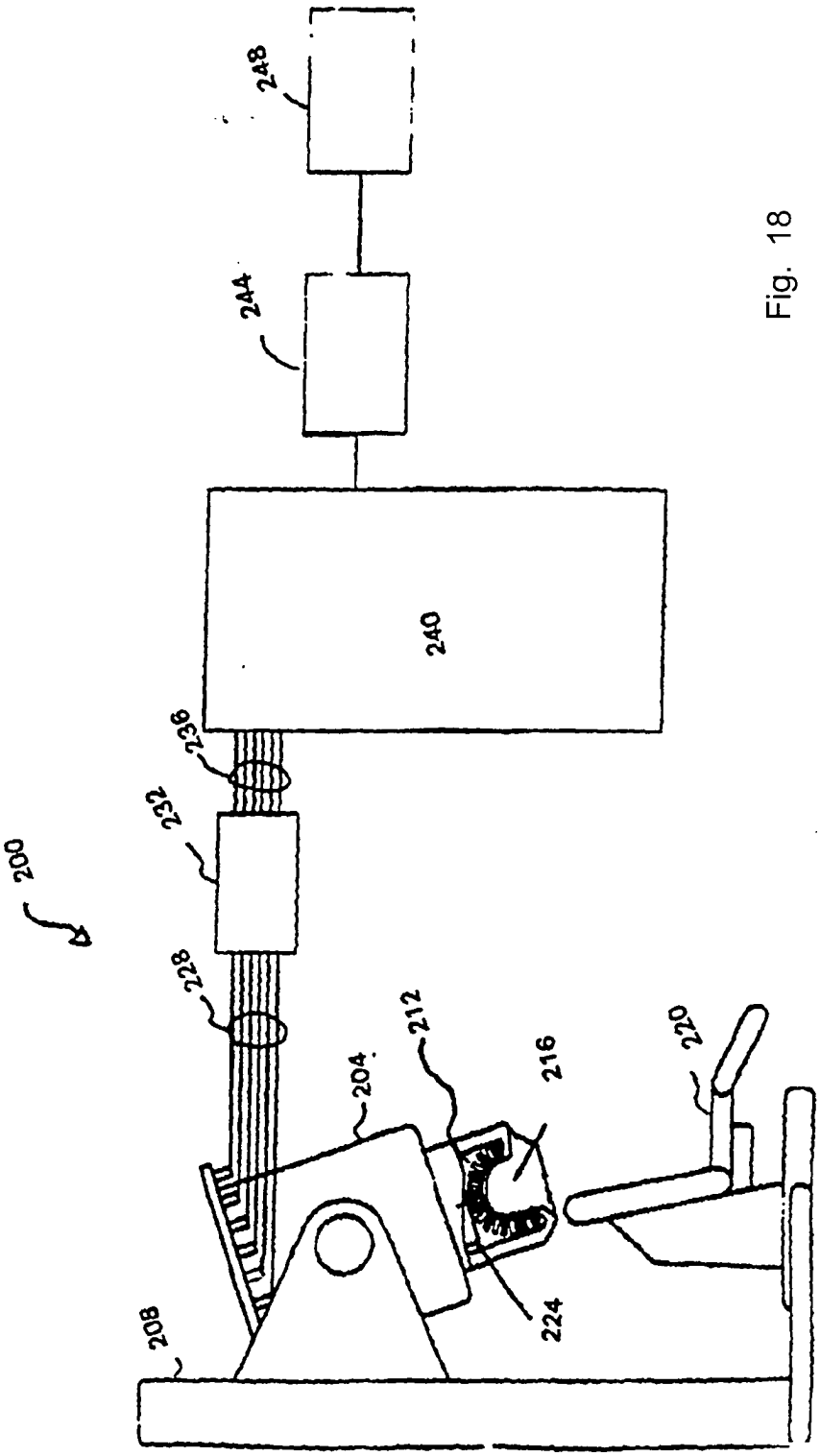


Fig. 18

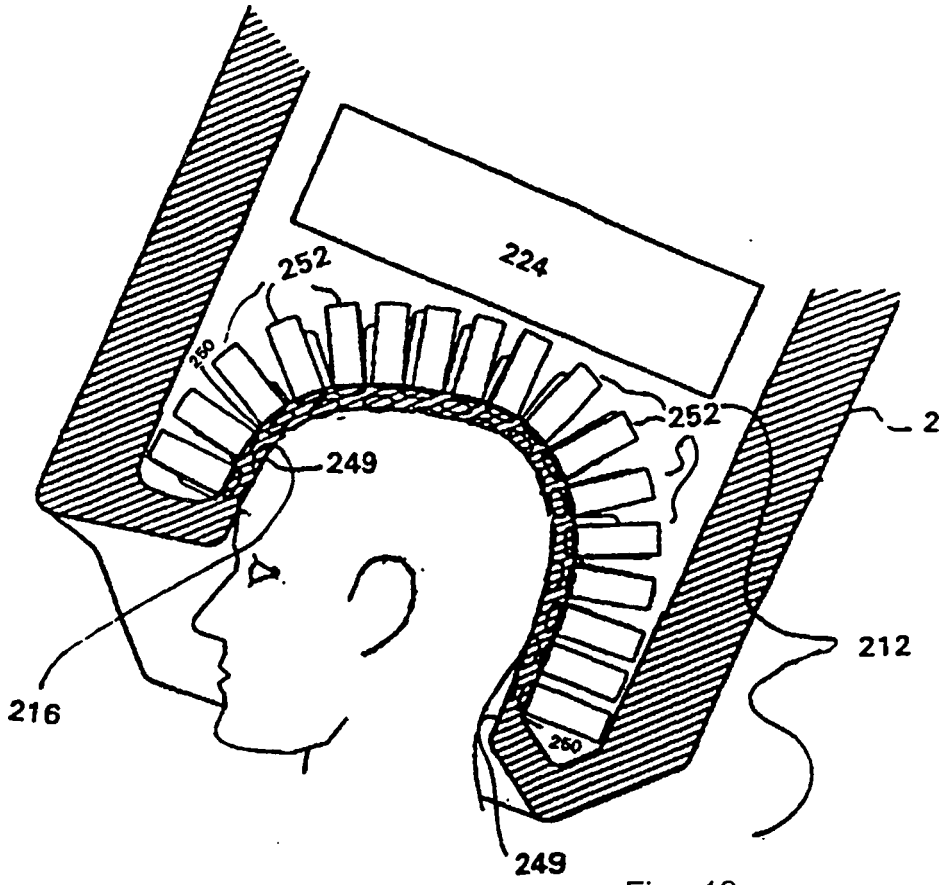


Fig. 19

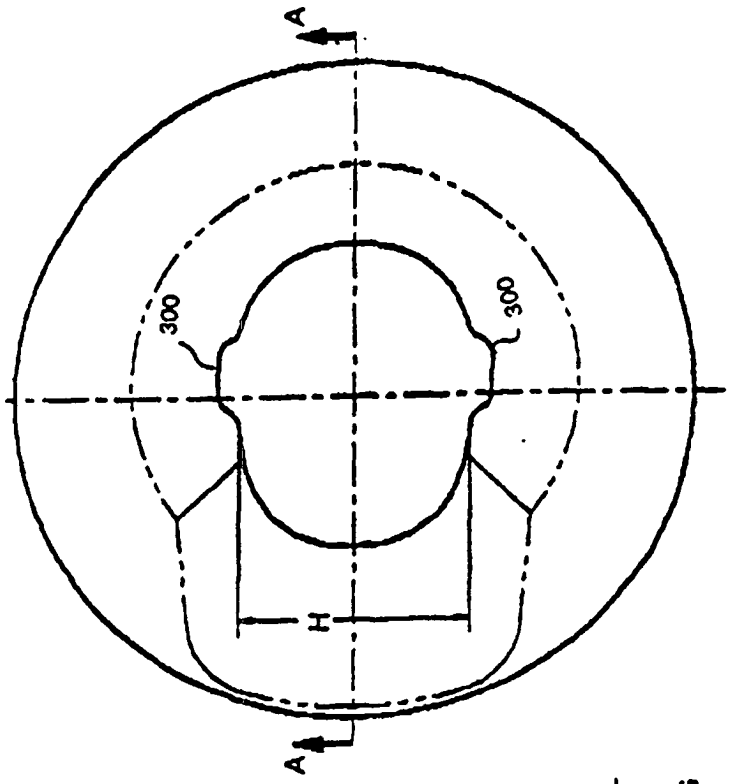


Fig. 20

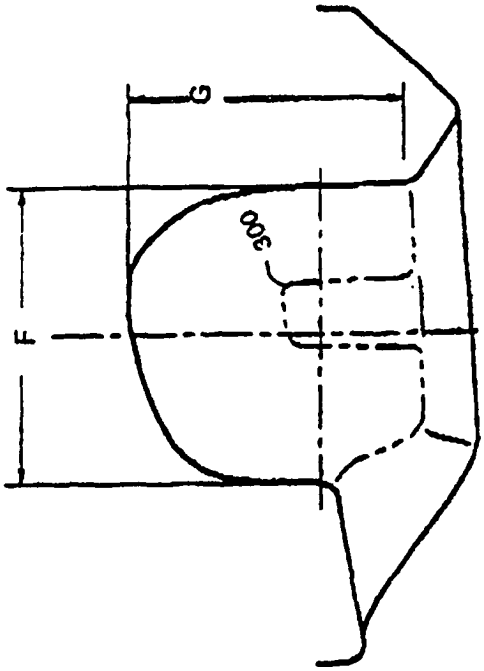


Fig. 21