



(10) **DE 10 2010 029 668 A1** 2011.12.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 029 668.6**

(22) Anmeldetag: **02.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **08.12.2011**

(51) Int Cl.: **G01C 17/38** (2006.01)

G01C 25/00 (2006.01)

G01R 33/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Weiss, Stefan, 72070, Tübingen, DE;

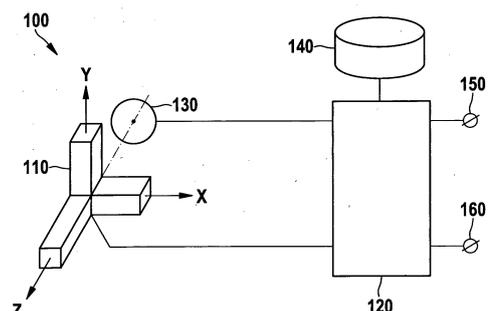
Bartholomeyczik, Julian, 72762, Reutlingen, DE;

Scheiermann, Sergej, 72800, Eningen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kalibrierung eines dreiachsigen Magnetfeldsensors**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Kalibrieren eines dreiachsigen Magnetfeldsensors umfasst Schritte des Bestimmens eines Versatzes aufgenommener Messwerte des Magnetfeldsensors durch ein überlagertes Signal und des Bestimmens der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang der ersten Messachsen. Dabei umfasst das Bestimmen der Empfindlichkeit Schritte des Bestimmens der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang einer ersten Messachse und des Bestimmens der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang der anderen Messachsen auf der Basis der Empfindlichkeit der ersten Messachse und des bestimmten Versatzes.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Magnetfeldsensoren, die ein Magnetfeld bezüglich mehrerer Messachsen bestimmen, müssen im Rahmen einer Fertigung üblicherweise mittels komplexer Messtechnik abgeglichen werden. Die Abgleichprozedur kann sehr aufwändig und kostspielig sein. Insbesondere dann, wenn der Magnetfeldsensor sehr genau ist, beispielsweise wenn er das Erdmagnetfeld messtechnisch erfassen soll, ist eine aufwändige Abgleichprozedur mit komplexer Messtechnik erforderlich.

[0002] Störungen eines solchen Magnetfeldsensors können außer von Fertigungstoleranzen auch von einer Umgebung des Sensors am Einsatzort abhängig sein, so dass die Kalibrierung während der Herstellung nicht ausreichend ist. Beispielsweise können weichmagnetische und/oder aufmagnetisierte Gegenstände oder nahe an dem Magnetfeldsensor vorbeiführende, stromdurchflossene Leiter das bestimmte Magnetfeld verfälschen. Beim Einsatz des Magnetfeldsensors beispielsweise in einem Mobiltelefon oder einem tragbaren Computer sind derartige Störungen praktisch unvermeidlich.

[0003] US 7,275,008 B2 zeigt ein Verfahren zur Kompensation von Messfehlern dreidimensionaler Magnetfeld-Messwerte, bei dem ein geometrischer Körper bestimmt wird, auf dessen Oberfläche eine Anzahl aufgenommener Messwerte liegt. Parameter, die eine Abweichung der Form dieses Körpers von der geometrischen Referenzfigur einer Kugel definieren, werden bestimmt. Die Parameter werden für eine Abbildung aufgenommener Messwerte auf kalibrierte Messwerte angewendet.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Kalibrierungsverfahren für einen dreidimensionalen Magnetfeldsensor anzugeben, das einen geringen Rechenaufwand erfordert, so dass es in einem Mobilgerät möglichst effizient angewendet werden kann.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Die Erfindung löst dieses Problem mittels eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Ferner löst die Erfindung das Problem mittels einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9. Unteransprüche geben bevorzugte Ausführungsformen wieder.

[0006] Erfindungsgemäß umfasst ein Verfahren zum Kalibrieren eines dreiachsigen Magnetfeldsensors Schritte des Bestimmens eines Versatzes aufgenommener Messwerte des Magnetfeldsensors durch ein überlagertes Signal, des Bestimmens der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang einer ersten Messachse und des Bestimmens der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang der anderen Messachsen auf der Basis der Empfindlichkeit der ersten Messachse und des bestimmten Versatzes.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren kann genaue Ergebnisse bei einer guten Reproduzierbarkeit erzielen. Außerdem kann das Verfahren in einem mobilen System mit beschränkter Rechenleistung und Energie eingesetzt werden. Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von Sensorcharakteristika wie unterschiedlichen, Empfindlichkeiten oder einem Versatz bezüglich der Messachsen des Magnetfeldsensors sein.

[0008] Vorzugsweise wird die Empfindlichkeit der ersten Messachse durch Anlegen eines bekannten Magnetfelds an den Magnetfeldsensor bestimmt. Dadurch kann das Verfahren unabhängig von einer Größe und Richtung des Erdmagnetfelds eingesetzt werden. Das Magnetfeld kann entlang der ersten Messachse ausgerichtet sein, so dass eine Einrichtung zum Erzeugen des Magnetfelds kostengünstig und relativ einfach als gedruckte Schaltung auf einer Platine oder als Mikrostruktur in einem mikro-elektromechanischen System (MEMS) realisiert sein kann. Eine fertigungstechnisch aufwändige in bekannter Weise auf mehrere der Messachsen wirkende Einrichtung zur Erzeugung des Magnetfelds kann so vermieden werden.

[0009] Die Empfindlichkeit entlang der anderen Messachsen kann mittels eines numerischen Verfahrens, beispielsweise eines Newton-Iterationsverfahrens, bestimmt werden. Dadurch hält sich der Rechenaufwand für das Verfahren in Grenzen, so dass das Verfahren auf einer Verarbeitungseinrichtung eines mobilen Geräts eingesetzt werden kann. Vom Newton-Iterationsverfahren sind zudem zahlreiche Varianten bekannt, die leicht auf das Problem angepasst und beispielsweise in einer programmierbaren Datenverarbeitungsanlage umgesetzt werden können. In anderen Ausführungsformen kann auch ein anderes bekanntes Verfahren verwendet werden, beispielsweise ein Kalman-Filter oder ein Least-Squares-Verfahren.

[0010] Das Verfahren kann ferner ein Abspeichern von aufgenommenen Messwerten umfassen, die zu allen zuvor abgespeicherten Messwerten einen vorbestimmten Mindestabstand einhalten. Die Bestimmung des Versatzes und die Bestimmung der Empfindlichkeit können dann auf einer Anzahl von Messwerten durchgeführt werden, die eine vorteilhafte geometrische Konstellation aufweisen, so dass auf der Basis von relativ wenigen Messwerten mit verringertem Rechenaufwand gute Ergebnisse erzielt werden können.

[0011] Nach einem ersten Durchlauf kann das Verfahren mit weiteren aufgenommenen Messwerten fortgeführt werden, um die Kalibrierung fortlaufend zu verbessern. So kann vorteilhafterweise eine Kalibrierung während des laufenden Betriebs (in-use-Kalibrierung) bereitgestellt werden, deren Qualität mit einer steigenden Anzahl abgespeicherter Messwerte fortlaufend verbessert werden kann.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform kann auf der Basis eines Ergebnisses des Verfahrens wenigstens ein Verfahrensparameter angepasst werden. Dadurch kann die Genauigkeit des Verfahrens bei einem erneuten Durchlauf verbessert und/oder ein Verarbeitungs- bzw. Speicheraufwand für das Verfahren reduziert sein.

[0013] Das Verfahren kann auch ein Korrigieren aufgenommener Messwerte entsprechend der bestimmten Empfindlichkeiten und des bestimmten Versatzes umfassen. So kann ein integrierter Magnetfeldsensor bereitgestellt sein, der eine Korrektur autark durchführt und kalibrierte und kompensierte Messwerte bereitstellt.

[0014] Das Verfahren kann als Computerprogrammprodukt mit Programmcodemitteln auf einer Verarbeitungseinrichtung ausgeführt oder auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sein.

[0015] Nach einem weiteren Aspekt umfasst die Erfindung eine Vorrichtung zur Kalibrierung eines dreiachsigen Magnetfeldsensors, der eine Einrichtung zur Bestimmung eines Versatzes der Messwerte des Magnetfeldsensors durch ein überlagertes Signal, eine Einrichtung zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang einer ersten Messachse und eine Einrichtung zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang der anderen beiden Messachsen auf der Basis der Empfindlichkeit der ersten Messachse und des bestimmten Versatzes umfasst.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Vorrichtung auch eine Einrichtung zum Anlegen eines bekannten Magnetfelds an den Magnetfeldsensor entlang der ersten Messachse.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0017] Im Folgenden wird die Erfindung mit Bezug auf die beigefügten Figuren genauer beschrieben, in denen:

[0018] [Fig. 1](#) ein Messsystem zur dreiachsigen Bestimmung eines Magnetfelds;

[0019] [Fig. 2](#) eine Darstellung unverarbeiteter und verarbeiteter Messwerte des Messsystems nach [Fig. 1](#); und

[0020] [Fig. 3](#) ein Verfahren zum Kalibrieren des Magnetfeldsensors aus [Fig. 1](#) darstellt.

Genauere Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0021] [Fig. 1](#) zeigt ein Messsystem **100** zur Bestimmung eines mehrachsigen Magnetfelds. Das Messsystem **100** umfasst einen dreiachsigen Magnetfeldsensor **110**, eine Verarbeitungseinrichtung **120**, eine Spule **130**, einen Speicher **140**, eine erste Schnittstelle **150** und eine zweite Schnittstelle **160**.

[0022] Der dreiachsige Magnetfeldsensor **110** bestimmt ein Magnetfeld entlang dreier paarweise aufeinander senkrecht stehender Achsen x, y und z. Mittels des Magnetfeldsensors **110** bestimmte Messwerte des Magnetfelds werden der Verarbeitungseinrichtung **120** bereitgestellt. Dabei kann eine Digitalisierung eines analog bereitgestellten Messwerts umfasst sein. Die Verarbeitungseinrichtung **120** ist dazu eingerichtet, die vom Magnetfeldsensor **110** bereitgestellten Messwerte zu filtern, indem sie Messwerte selektiert, die vorbestimmten Kriterien genügen, und gefilterte Messwerte für eine spätere Weiterbearbeitung im Speicher **140** abzuspeichern. Die Verarbeitungseinrichtung **120** ist darüber hinaus mit der Spule **130** verbunden, um bei Bedarf ein bekanntes Magnetfeld entlang der z-Messachse zu erzeugen.

[0023] Auf der Basis der abgespeicherten Messwerte bestimmt die Verarbeitungseinrichtung **120** später Kalibrierungsparameter, auf deren Basis eine Korrektur eines aufgenommenen Messwerts des Magnetfeldsensors **110** möglich ist. Diese Kalibrierungsparameter umfassen eine Kompensation eines Versatzes („offset“)

der Messwerte entlang der x-, y- und z-Messachsen und eine Anpassung der Empfindlichkeiten des Magnetfeldsensors **110** bezüglich dieser Achsen.

[0024] Die Verarbeitungseinrichtung **120** stellt über die erste Schnittstelle **150** die bestimmten Kalibrierungsparameter bereit. Über die zweite Schnittstelle **160** stellt die Verarbeitungseinrichtung **120** darüber hinaus korrigierte Messwerte des Magnetfeldsensors **110** bereit. Beide Schnittstellen **150** und **160** können physisch (in Hardware) und/oder virtuell (in Software) ausgebildet sein.

[0025] **Fig. 2** zeigt ein Diagramm **200** mit unkorrigierten Messwerten **210** und korrigierten Messwerten **220**. Bei einer Bestimmung des Erdmagnetfelds ist idealerweise der Betrag des Magnetfelds relativ genau bekannt, so dass aufgenommene Messwerte hauptsächlich eine Richtungsinformation geben. Stehen die Messachsen paarweise aufeinander senkrecht, so können die aufgenommenen Messwerte in ein kartesisches Koordinatensystem entsprechend der Messachsen eingetragen werden und liegen dort auf der Oberfläche einer Kugel um den Ursprung der Messachsen. Diese ideale Situation gilt für die verarbeiteten Messwerte **220** in **Fig. 2**.

[0026] In einem realen Messsystem, wie dem Messsystem **100** aus **Fig. 1**, bestehen üblicherweise unterschiedliche Empfindlichkeiten des Magnetfeldsensors **110** entlang der Messachsen. Darüber hinaus ist das bestimmte Magnetfeld um einen Betrag entlang einer der Messachsen versetzt. Die unkorrigierten Messwerte **210** in **Fig. 2** stellen derartige reale Messwerte dar.

[0027] Es ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung, sowohl den Versatz der Messwerte **210** gegenüber den Messwerten **220** als auch die Verzerrung der Messwerte **210** entlang der Messachsen bezüglich der Messwerte **220** zu bestimmen. Diese Bestimmung wird Kalibrierung genannt; die bestimmten Kalibrierungsparameter können verwendet werden, um einen beliebigen realen Messwert **210** in den korrespondierenden idealen Messwert **220** zu überführen. Dieser Vorgang wird Korrektur genannt.

[0028] **Fig. 3** zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens **300** zum Kalibrieren des dreiachsigen Magnetfeldsensors **110** aus dem Messsystem **100** aus **Fig. 1**.

[0029] In einem ersten Schritt **305** werden Parameter des Verfahrens **300** auf vorbestimmte Standardwerte gesetzt. Zu diesen Parameter gehören eine Anzahl zu erwartender Messwerte, eine erwartete Feldstärke des zu bestimmenden Magnetfelds, ein erwarteter Radius der Kugel entsprechend den Messwerten **220** in **Fig. 2** und Parameter zur Definition von Gruppen, denen die aufgenommenen Messwerte zugeordnet werden können.

[0030] Nach dem Initialisieren wird in einem Schritt **310** eine vorbestimmte Anzahl von Messwerten ignoriert, um ein Einschwingen des Messsystems **100** bzw. des Verfahrens **300** zu erlauben. Diese Messwerte werden zwar aufgenommen und verarbeitet wie im Folgenden beschrieben ist, die Messwerte werden jedoch nicht ausgegeben.

[0031] Danach werden in einem Schritt **315** Messwerte des Magnetfeldsensors **110** aufgenommen. In einem Schritt **320** wird für einen aufgenommenen Messwert überprüft, ob der Messwert in dem in **Fig. 2** dargestellten kartesischen Koordinatensystem einen ausreichenden Abstand von allen zuvor abgespeicherten Messwerten einhält. Dieser Abstand kann beispielsweise in Form eines vorbestimmten euklidischen Abstands angegeben sein.

[0032] In einer Ausführungsform kann eine Anzahl Gruppen („cluster“) als Rasterung entlang der Messachsen definiert sein, so dass der aufgenommene Messwert einer der Gruppen zugeordnet werden kann. Dabei wird überprüft, ob dieser Gruppe bereits eine vorbestimmte Anzahl von Messwerten zugeordnet ist. In diesem Fall wird der Messwert verworfen, andernfalls der Gruppe zugeordnet. Durch das Bilden von Gruppen ist bereits sichergestellt, dass unterschiedlichen Gruppen zugeordnete Messwerte durchschnittlich einen Mindestabstand von einer halben Gruppengröße voneinander aufweisen.

[0033] Ist der Abstand des aufgenommenen Messwerts in Schritt **320** als ausreichend groß befunden worden, so wird der Messwert in einem Schritt **325** im Speicher **140** abgespeichert. Anderenfalls wird in einem Schritt **330** ein Stoppzähler inkrementiert, der die Anzahl aufeinanderfolgend verworfener Messwerte zählt. Dieser Zähler wird im Schritt **325** beim Speichern auf Null zurückgesetzt.

[0034] In einem Schritt **335** wird überprüft, ob ein Abbruchkriterium für das Filtern und Abspeichern von Messwerten in den Schritten **315** bis **335** erreicht wurde. Das erste Abbruchkriterium umfasst eine Anzahl abgespeicherter Messwerte bzw. eine Anzahl von Gruppen, denen jeweils die vorbestimmte Anzahl von Messwerten

zugeordnet wurde. Das zweite Abbruchkriterium ist ein vorbestimmter Stand des Stoppzählers. Ist keines der Abbruchkriterien erreicht, so fährt das Verfahren mit dem Schritt **315** fort.

[0035] Im Fall des Erreichens eines Abbruchkriteriums wird in einem Schritt **340** der Versatz der abgespeicherten Messwerte gegenüber idealen Messwerten bestimmt (vgl. [Fig. 2](#)). Dazu wird vorzugsweise mittels der Methode der kleinsten Quadrate („least squares“) der geometrische Körper einer Kugel bestimmt, auf deren Oberfläche in möglichst guter Näherung die abgespeicherten Punkte liegen. Der Versatz des Mittelpunkts dieser bestimmten Kugel vom Ursprung der Messachsen ist der gesuchte Versatz der Messwerte.

[0036] Danach wird in einem Schritt **345** die Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors **110** entlang einer ersten Achse bestimmt. In einer Ausführungsform kann die Empfindlichkeit entlang dieser Achse bereits durch entsprechend geringe Fertigungstoleranzen des Magnetfeldsensors **110** bekannt sein. In einer anderen Ausführungsform wird die Spule **130** unter Strom gesetzt, so dass entlang der z-Messachse ein bekanntes Magnetfeld entsteht. Die Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors **110** entlang der z-Achse lässt sich aus einem Messwert in z-Richtung und dem Betrag des erzeugten Magnetfelds bestimmen. Vorzugsweise ist das erzeugte Magnetfeld so groß, dass ein zusätzlicher Einfluss des Erdmagnetfelds bei der Bestimmung nicht ins Gewicht fällt, also beispielsweise 5- oder 10-fach größer.

[0037] Auf der Basis der in den Schritten **340** und **345** bestimmten Größen wird in einem Schritt **350** ein Durchlauf eines Newton-Iterationsverfahrens durchgeführt. Anschließend wird in einem Schritt **355** überprüft, ob die durch den vergangenen Durchlauf des Schritts **350** erzielte Genauigkeit unterhalb eines vorbestimmten Maßes liegt. Ist dies nicht der Fall, so fährt das Verfahren **300** mit dem Schritt **350** fort und iteriert erneut durch das Newton-Verfahren.

[0038] Wird in Schritt **355** bestimmt, dass die Genauigkeit ausreicht, so werden in einem Schritt **360** die bestimmten Kalibrierungsparameter ausgegeben. Diese Kalibrierungsparameter umfassen üblicherweise drei Elemente des Versatzes der Messwerte entlang der Messachsen und zwei Elemente der Empfindlichkeiten entlang der Messachsen, die dem Magnetfeld der Spule **130** nicht ausgesetzt waren. Die bestimmte Genauigkeit entlang der z-Achse kann ebenfalls ausgegeben werden. Auf der Basis dieser Parameter kann ein aufgenommener Messwert korrigiert werden, so dass er auf der Oberfläche der idealen Kugel um den Ursprung der Messachsen entsprechend der Messwerte **220** in [Fig. 2](#) liegt. Im Schritt **260** kann diese Korrektur auch durchgeführt und der korrigierte Messwert ausgegeben werden.

[0039] Darüber hinaus können in einem optionalen Schritt **365** Verfahrensparameter, die zuletzt im Schritt **305** gesetzt wurden, an die bestimmten Kalibrierungsparameter angepasst werden. Auf diese Weise kann insbesondere eine Definition der Gruppen entlang der Messachsen vorteilhaft so durchgeführt werden, dass eine Zuordnung von aufgenommenen Messwerten zu Gruppen leicht möglich ist und weder zu viele noch zu wenige Gruppen entlang der Messachsen definiert sind.

[0040] Es folgt eine mathematische Beschreibung von Kernelementen des Verfahrens **300**.

[0041] Zur Bestimmung des Korrekturfaktors S_z für die Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors **110** entlang der z-Messachse wird mittels der Spule **130** ein bekanntes Magnetfeld in z-Richtung an den Magnetfeldsensor **110** angelegt. Der Korrekturfaktor S_z ergibt sich dann zu:

$$S_z = \frac{\left(\bar{z}(on) - \bar{z}(off) \right)}{|B|} \quad (\text{Formel 1})$$

wobei gilt:

S_z := Korrekturfaktor zur Kalibrierung entlang der z-Messachse
 $\bar{z}(on)$:= Mittelwert der Messwerte in z-Richtung bei aktiviertem Magnetfeld
 $\bar{z}(off)$:= Mittelwert der Messwerte in z-Richtung bei deaktiviertem Magnetfeld
 $|B|$:= angelegtes Magnetfeld

[0042] Die Nichtlinearitäten des Magnetfeldsensors **110** nach der Empfindlichkeitskorrektur entlang der z-Achse können wie folgt beschrieben werden:

$$d_i = \sqrt{(Sx_0 \cdot x_i - x_0)^2 + (Sy_0 \cdot y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} \quad (\text{Formel 2})$$

wobei gilt:

d := Radius der Kugel **220**
 Sx := Korrekturfaktor zur Kalibrierung entlang der x-Messachse
 Sy := Korrekturfaktor zur Kalibrierung entlang der y-Messachse
 x_0 := Versatz der Messwerte entlang der x-Messachse
 y_0 := Versatz der Messwerte entlang der y-Messachse
 z_0 := Versatz der Messwerte entlang der z-Messachse
 i := Index der Messwerte

[0043] Die angegebenen gesuchten Kalibrierungsparameter werden aus den abgespeicherten Messwerten ermittelt. Dabei wird ein nichtlineares Newton-Verfahren verwendet. Zunächst wird in bekannter Weise die Jacobi-Matrix gebildet:

$$Jacobi := \begin{pmatrix} \frac{\partial d_i}{\partial Sx} & \frac{\partial d_i}{\partial Sy} & \frac{\partial d_i}{\partial x(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial y(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial z(off)} \\ \frac{\partial d_i}{\partial Sx} & \frac{\partial d_i}{\partial Sy} & \frac{\partial d_i}{\partial x(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial y(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial z(off)} \\ \frac{\partial d_i}{\partial Sx} & \frac{\partial d_i}{\partial Sy} & \frac{\partial d_i}{\partial x(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial y(off)} & \frac{\partial d_i}{\partial z(off)} \end{pmatrix} \quad (\text{Formel 3})$$

[0044] Der Distanzvektor D bestimmt sich zu:

$$D = d_0 - d_i \quad (\text{Formel 4})$$

wobei d_0 eine erste Annahme ist und d_i entsprechend Formel 2 bestimmt wird.

[0045] Es wird ein Gleichungssystem folgender Form aufgestellt:

$$[(Jacobi)^T \cdot (Jacobi)] \cdot \Delta = (Jacobi)^T \cdot D \quad (\text{Formel 5})$$

[0046] Dabei ist Δ der Vektor der Differenzen zwischen optimalen und bestehenden Systemparametern:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta Sx \\ \Delta Sy \\ \Delta Xoff \\ \Delta Yoff \\ \Delta Zoff \end{pmatrix} \quad (\text{Formel 6})$$

wobei $\Delta Xoff$ der Versatz („Offset“) der Messwerte in x-Richtung,
 $\Delta Yoff$ der Versatz der Messwerte in y-Richtung und
 $\Delta Zoff$ der Versatz der Messwerte in z-Richtung ist.

[0047] Nach dem Lösen des Gleichungssystems aus Formel 5 werden die bestimmten Abweichungen auf die Sensorparameter aufaddiert:

$$\begin{aligned}
 Sx_i &= Sx_{i-1} + \Delta Sx \\
 Sy_i &= Sy_{i-1} + \Delta Sy \\
 x_i &= x_{i-1} + \Delta Xoff \\
 y_i &= y_{i-1} + \Delta Yoff \\
 z_i &= z_{i-1} + \Delta Zoff
 \end{aligned} \quad (\text{Formel 7})$$

[0048] Danach wird die Verarbeitung entsprechend den Formeln 4 bis 6 erneut durchgeführt. Die Iteration bricht ab, wenn alle Elemente des Vektors Δ unterhalb vorbestimmter Beträge liegen, so dass eine erneute Verarbeitung keine relevante Verbesserung der bestimmten Parameter ergäbe. Die mittels Formel 7 zuletzt

bestimmten Parameter S_x , S_y sind die gesuchten Korrekturfaktoren für die Empfindlichkeiten entlang der Messachsen und die Parameter x und y geben die gesuchte Überlagerung entlang der Messachsen an. Die Empfindlichkeit S_z der z-Achse wird im ersten Schritt (überlagertes Signal durch Spule) ermittelt. Diese sechs Parameter bilden gemeinsam die gesuchten Kalibrierungsparameter.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 7275008 B2 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren (**300**) zum Kalibrieren eines dreiachsigen Magnetfeldsensors (**110**), folgende Schritte umfassend:
 - Bestimmen (**340**) eines Versatzes aufgenommener Messwerte des Magnetfeldsensors (**110**) durch ein überlagertes Signal; und
 - Bestimmen (**345–355**) der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors entlang der Messachsen (x, y, z); wobei das Bestimmen (**345–355**) der Empfindlichkeit folgendes umfasst:
 - Bestimmen (**345**) der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors (**110**) entlang einer ersten Messachse (z);
 - Bestimmen (**350**) der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors (**110**) entlang der anderen Messachsen (x, y) auf der Basis der Empfindlichkeit der ersten Messachse (z) und des bestimmten Versatzes.
2. Verfahren (**300**) nach Anspruch 1, wobei die Empfindlichkeit der ersten Messachse (z) durch Anlegen (**345**) eines bekannten Magnetfelds an den Magnetfeldsensor (**110**) bestimmt wird.
3. Verfahren (**300**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Empfindlichkeit entlang der anderen Messachsen (x, y) mittels eines Newton-Iterationsverfahrens bestimmt (**350**) wird.
4. Verfahren (**300**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner umfassend ein Abspeichern (**325**) von aufgenommenen Messwerten, die zu allen zuvor abgespeicherten Messwerten einen vorbestimmten Mindestabstand einhalten.
5. Verfahren (**300**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren (**300**) nach einem ersten Durchlauf mit weiteren aufgenommenen Messwerten fortgeführt wird, um die Kalibrierung fortlaufend zu verbessern.
6. Verfahren (**300**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei auf der Basis eines Ergebnisses des Verfahrens (**300**) wenigstens ein Verfahrensparameter angepasst (**365**) wird.
7. Verfahren (**300**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner umfassend ein Korrigieren (**360**) aufgenommener Messwerte entsprechend der bestimmten Empfindlichkeiten und des Versatzes.
8. Computerprogrammprodukt (**300**) mit Programmcodemitteln zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, wenn es auf einer Verarbeitungseinrichtung ausgeführt wird oder auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.
9. Vorrichtung (**120**) zur Kalibrierung eines dreiachsigen Magnetfeldsensors, umfassend:
 - eine Einrichtung (**120**) zur Bestimmung eines Versatzes der Messwerte des Magnetfeldsensors (**110**) durch ein überlagertes Signal;
 - eine Einrichtung (**120**) zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors (**110**) entlang einer ersten Messachse (z); und
 - eine Einrichtung (**120**) zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors (**110**) entlang der anderen Messachsen (x, y) auf der Basis der Empfindlichkeit der ersten Messachse (z) und des bestimmten Versatzes.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, ferner umfassend eine Einrichtung (**130**) zum Anlegen eines bekannten Magnetfelds an den Magnetfeldsensor (**110**) entlang der ersten Messachse (z).

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

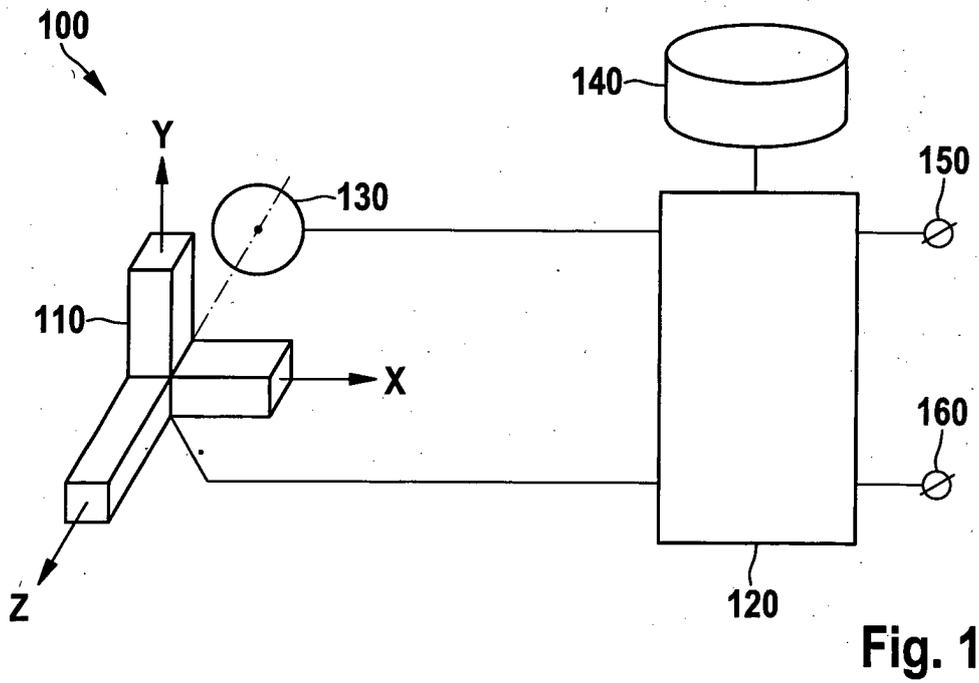


Fig. 1

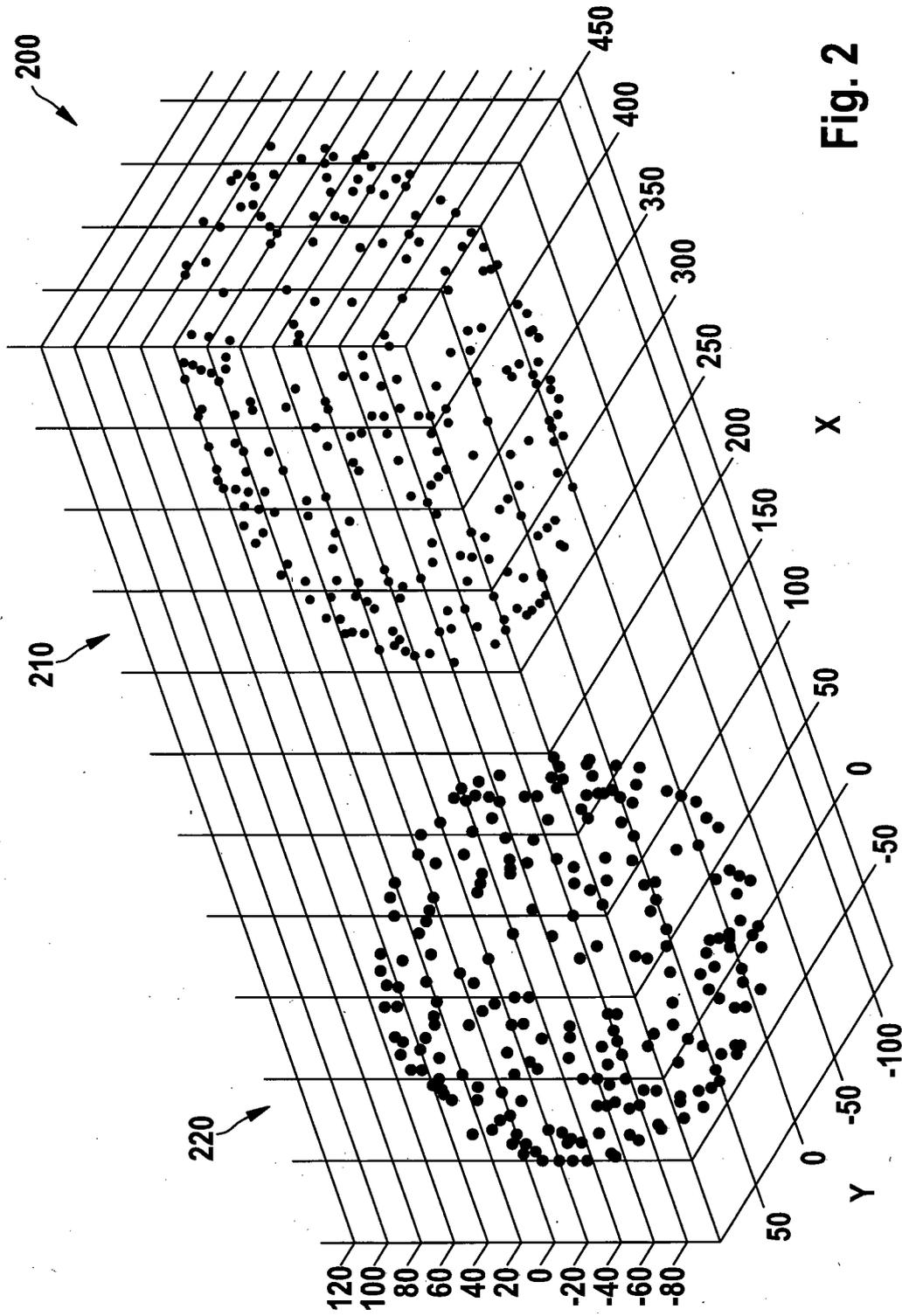


Fig. 2

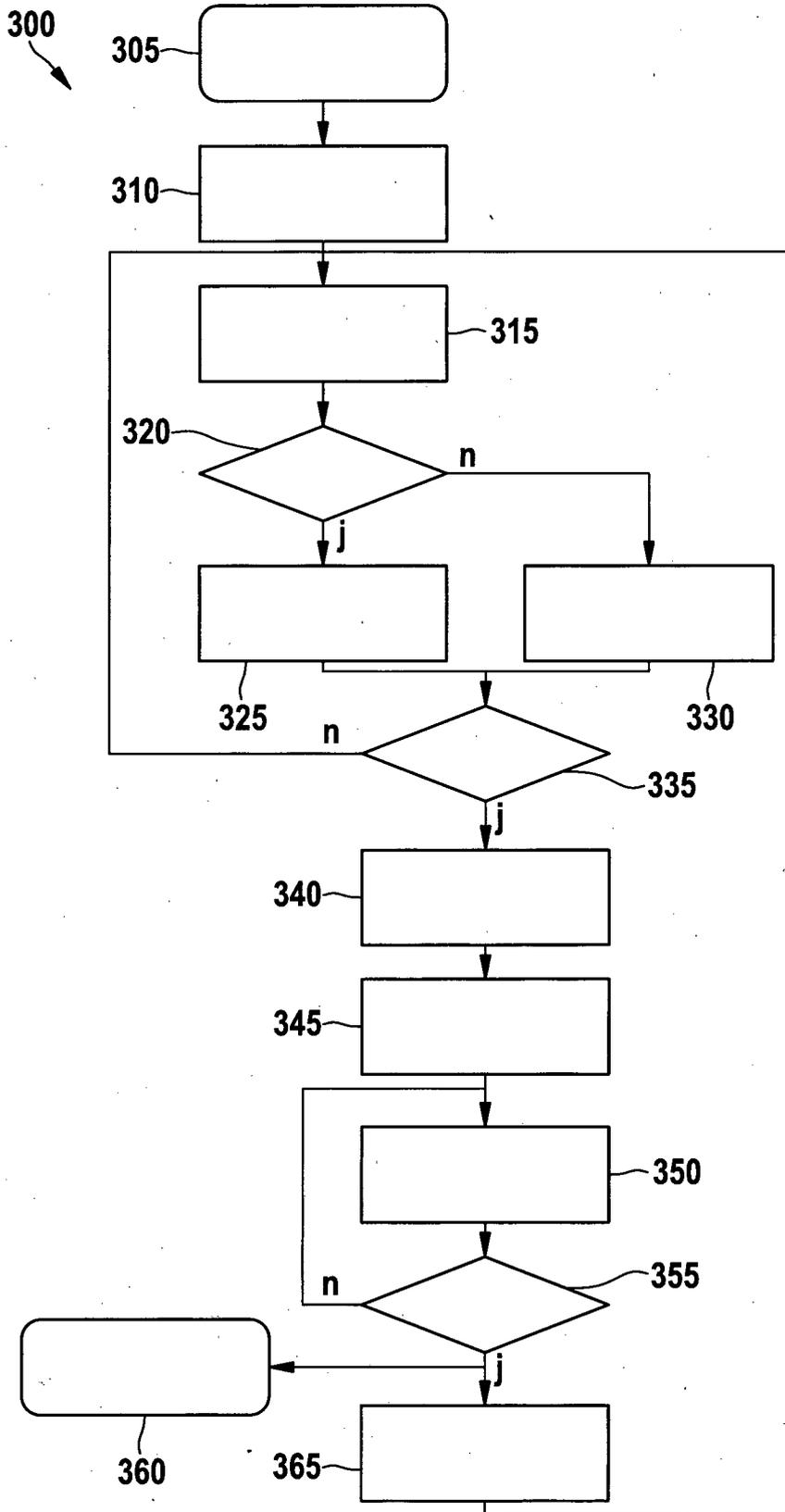


Fig. 3