

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

697 370 B1

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **G01B** 21/32 (2006.01)
G01C 7/06 (2006.01)
G01S 5/00 (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00119/08

(22) Anmeldedatum: 28.01.2008

(30) Priorität: 01.02.2007 AT A 164/2007

(24) Patent erteilt: 29.08.2008

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.08.2008

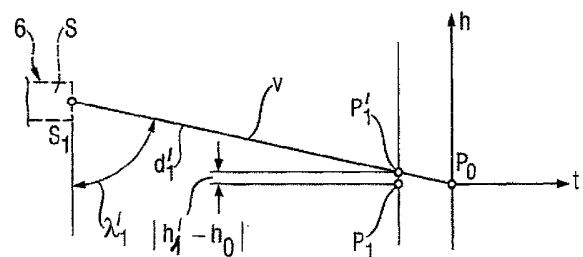
(73) Inhaber:
Dipl.-Ing. Dr. Helge Grafinger, Teisenberggasse 11A
5020 Salzburg (AT)

(72) Erfinder:
Dipl.-Ing. Dr. Helge Grafinger, 5020 Salzburg (AT)

(74) Vertreter:
Isler & Pedrazzini AG, Postfach 1772
8027 Zürich (CH)

(54) **Verfahren zur Überwachung der Deformation eines Objektes.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Deformation eines Objektes mittels eines berührungslosen Polarmesssystems (6), wobei zumindest ein Nullmesspunkt (P_0) in einer Nullmessung erfasst wird. Mit dem Polarmesssystem (6) wird ein fiktiver Zielpunkt angepeilt, wobei der fiktive Zielpunkt dieselben Koordinaten in der zweiten und dritten Achse (h) in einem Hauptverformungskordinatensystem aufweist, wie der Nullmesspunkt (P_0). Danach wird ein Hilfsmesspunkt (P_1') an der Oberfläche des Objektes erfasst, welcher auf der Peilgeraden (v) des fiktiven Zielpunktes liegt. Durch Vergleichen der Koordinaten des Hilfsmesspunktes (P_1') mit den Koordinaten des Nullmesspunktes (P_0) in der zweiten und dritten Achse (h) eines Hauptverformungskordinatensystems kann der Hilfsmesspunkt (P_1') als Verformungsmesspunkt (P_1) erkannt werden, wenn die Abweichungen der Koordinaten zwischen dem Hilfsmesspunkt (P_1') und dem Nullmesspunkt (P_0) kleiner sind als ein definierter Toleranzwert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Deformation eines Objektes, insbesondere einer Ortsbrust eines Grubenbaus, vorzugsweise einer Tunnelbrust, mittels eines berührungslosen Polarmesssystems.

[0002] Deformationsmessungen von Bauwerken werden speziell im Tunnelbau üblicherweise unter Verwendung von folgenden Sensortypen durchgeführt:

- berührungslose Polarmesssysteme (Totalstationen, 3D-Scanner)
- reine Entfernungsmesssysteme (Laserdisto, Messbänder- und Drähte)
- Einbaumesssysteme für das Gebirgsverhalten (Extensometer, Messanker, Druckmessungen)

[0003] Alle mit derartigen Sensortypen angewandten Messmethoden erfordern den Einbau von speziellen Bezugsmarken, die repräsentativ für Lageänderungen des Objektes sind, an welchem sie montiert sind. Insbesondere erforderten berührungslose Polarmesssysteme bisher den Einbau von speziellen Zielmarken, deren dreidimensionale Position gemessen wird.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Überwachung der Deformation eines Objektes bereitzustellen, bei dem auf den Einsatz von Zielmarken verzichtet werden kann.

[0005] Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

- a) Erfassen zumindest eines Nullmesspunktes in einer Nullmessung mit dem berührungslosen Polarmesssystem, wobei vorzugsweise die Polarkoordinaten des Messpunktes in ein euklidisches Bezugskoordinatensystem transformiert werden,
- b) Definieren eines euklidischen Hauptverformungskoodinatensystems, dessen erste Achse parallel zu einer angenommenen Hauptverformungsrichtung des Objektes angesetzt wird, wobei eine zweite und eine dritte Achse des Hauptverformungskoodinatensystems in einer Normalebene auf die erste Achse liegen.
- c) Anpeilen eines fiktiven Zielpunktes mit dem Polarmesssystem, wobei der fiktive Zielpunkt dieselben Koordinaten in der zweiten und dritten Achse im Hauptverformungskoodinatensystem aufweist, wie der Nullmesspunkt,
- d) Erfassen eines Hilfsmesspunktes an der Oberfläche des Objektes, welcher auf der Peilgeraden des fiktiven Zielpunktes liegt,
- e) Vergleichen der Koordinaten des Hilfsmesspunktes mit den Koordinaten des Nullmesspunktes in der zweiten und dritten Achse des Hauptverformungskoodinatensystems,
- f) Erkennen des Hilfsmesspunktes als Verformungsmesspunkt, wenn die Abweichungen der Koordinaten zwischen dem Hilfsmesspunkt und dem Nullmesspunkt kleiner als ein definierter Toleranzwert sind.

[0006] Kann der Hilfsmesspunkt nicht als Verformungsmesspunkt identifiziert werden, so ist vorgesehen, dass die Schritte c) bis f), vorzugsweise auf iterativem Wege, solange wiederholt werden, bis der Verformungsmesspunkt erkannt wird.

[0007] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass als erster fiktiver Zielpunkt der Nullmesspunkt verwendet wird, und dass als neuer fiktiver Zielpunkt ein Punkt verwendet wird, welcher in der ersten Achse die Koordinate des Hilfsmesspunktes in der zweiten und dritten Achse die Koordinaten des Nullmesspunktes aufweist.

[0008] Beim gegenständlichen Verfahren wird als Sensor ein berührungsloses Polarmesssystem verwendet, welches keine speziellen Zielmarken benötigt. Die Messungen erfolgen direkt auf die Oberfläche des zu beobachteten Objektes, wobei vorzugsweise Einzelpunktmessungen zu Scanflächen zusammengefasst werden. Dabei werden die Einzelpunktmessungen unter Anwendung der reflektorlosen Entfernungsmessung durchgeführt.

[0009] Um Fehlmessungen, beispielsweise zu Folge von Hindernissen zwischen dem Polarmesssystem und dem Objekt oder Materialabbruch, zu vermeiden, können die Messergebnisse gefiltert werden, wobei zumindest ein Verformungsmesspunkt einer aktuellen Messepoche mit jenem einer Bezugsepoche verglichen wird. Das Messergebnis wird dabei als Fehlmessung erkannt, wenn der Differenzwert zwischen dem aktuellen Verformungsmesspunkt und dem Nullmesspunkt grösser ist als ein definierter Schwellwert.

[0010] Die Messungen können vollautomatisch, ohne jeden Bedienereingriff durchgeführt werden, wodurch permanent Ergebnisdaten bereitgestellt werden können.

[0011] Das Verfahren eignet sich besonders gut zur Überwachung der Ortsbrust in einem Tunnelbauwerk. Dazu wird ein Polarmesssystem permanent am First im Bereich des Luttenendes montiert, wobei der maximale Abstand von der Ortsbrust beispielsweise etwa 50 m betragen kann. Ausgewählte Flächenelemente an der Ortsbrust können permanent gemessen werden. Die Ergebnisdaten jedes Flächenelementes werden automatisch an einen Steuerrechner im Tunnel übertragen, wodurch die aktuellen Längsverschiebungen der Ortsbrust im Tunnel angezeigt und erfasst werden können. Mit geeigneter Überwachungssoftware können die Daten grafisch dargestellt werden.

[0012] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Tunnel mit einem Polarmesssystem in einem vertikalen Längsschnitt;

- Fig. 2 den Tunnel in einem horizontalen Längsschnitt;
 Fig. 3 eine Folgemessung in einer Draufsicht;
 Fig. 4 eine Illustration des Polarkoordinatensystems;
 Fig. 5 eine Illustration des Hauptverformungskoodinatenystems;
 Fig. 6 das Verfahren in einem Blockdiagramm;
 Fig. 7 das Verfahren in einem Beispiel.

[0013] Mit dem gegenständlichen Verfahren werden Deformationen eines Bauwerkes erfasst, ohne dass Zielpunktmarken am Bauwerk erforderlich wären.

[0014] In den Fig. 1 und Fig. 2 wird beispielsweise die Durchführung des Verfahrens an einem durch die Ortsbrust 5 eines Tunnels 1 gebildeten Objekt 2 gezeigt. Am First 3 ist im Bereich des ortsseitigen Lutenendes 4 in einem Abstand von maximal zum Beispiel etwa 50 m von der Ortsbrust 5 ein Polarmesssystem 6 feststehend montiert. Die Position des Sensors S ist mit S_0 , bzw. S_1 bezeichnet.

[0015] Einzelpunkte P werden mit einem berührungslosen Polarmesssystem 6 räumlich durch Messung zweier Winkel θ , ϕ , sowie einer Raumstrecke s koordinativ erfasst, wie in Fig. 4 schematisch dargestellt ist. Die beiden Winkel θ , ϕ , werden in Ebenen θ , ϕ gemessen, deren Normalvektoren orthogonal aufeinander stehen. Die Winkel θ , ϕ , sind definiert durch jeweils eine Hauptbezugsrichtung m_θ , m_ϕ in der jeweiligen Ebene θ , ϕ und der Projektion des Vektors v zum zu messenden Punkt P auf die jeweilige Ebene θ , ϕ , wie in Fig. 4 gezeigt ist. Mit Hilfe dieser räumlichen Polarkoordinaten θ , ϕ , d und der Kenntnis der Sensorposition S_0 , S_1 , sowie der beiden Hauptbezugsrichtungen m_θ , m_ϕ in einem übergeordneten euklidischen Bezugskoodinatenystem können die Raumkoordinaten x, y, z des zu einem Anfangszeitpunkt T_0 gemessenen Einzelmesspunktes P_0 im Bezugssystem berechnet werden.

[0016] Für eine Wiederholungsmessung zu einem anderen Zeitpunkt T_1 können auf Grundlage der Koordinaten x, y, z des Einzelmesspunktes P_0 im Bezugskoodinatenystem die entsprechenden Winkel θ , ϕ im räumlichen Polarkoordinatensystem berechnet werden, wobei etwaige Änderungen der Sensorposition S_0 $\neq$ S_1 , sowie der beiden Hauptbezugsrichtungen m_θ , m_ϕ berücksichtigt werden. Die beiden Winkel θ , ϕ werden darauf am Sensor S eingestellt und die Entfernung d zum Objekt 2 gemessen.

[0017] Hat sich das beobachtete Objekt 2 zwischen einem beliebigen Messzeitpunkt T_0 und einem Wiederholungsmesszeitpunkt T_1 räumlich verschoben, so entspricht auch die räumliche Lage des ursprünglichen Einzelmesspunktes P_0 nicht mehr seiner Ausgangsposition und die Messung auf Grundlage der berechneten Winkel θ , ϕ erfasst einen anderen physischen Punkt am Objekt, als bei der ursprünglichen Messung. Dieses Problem trat bei Messmethoden, die spezielle Zielmarken verwenden, nicht auf, da bei jeder Messung derselbe physische Punkt in Form der Zielmarke am Objekt 2 erkannt und gemessen werden konnte.

[0018] Das gegenständliche Verfahren löst dieses Problem dadurch, dass eine räumliche erste Achse t definiert wird, welche mit zwei dazu orthogonalen Achsen q, h ein Verformungskoodinatenystem bilden, wie in der Fig. 5 schematisch dargestellt ist. Die erste Achse t ist parallel zur wahrscheinlichsten Verformungsrichtung des Objektes 2.

[0019] Die Hauptverformungsrichtung wird durch die Tangente t an die horizontale Tunnelachse 1a an der aktuellen Position der Ortsbrust 5 festgelegt. Die beiden anderen Achsen h, q des Verformungskoodinatenystems werden durch die Orthogonale auf die Tunnelachse 1a in horizontaler Richtung und durch die Lotrichtung gebildet. Die zugehörigen Koordinaten sind der Tunnelmeter t (Bogenlänge entlang der horizontalen Tunnelachse 1a), die Querablage q und die Höhenablage h.

[0020] Die Transformationen zwischen den drei Koordinatensystem «räumlich Polar» (θ , ϕ , d), «Bezug» (x, y, z) und «Verformung» (t, q, h) stellen Lösungen geometrischer Grundaufgaben dar. Die Lösung zur Messung identer physischer Punkte P erfolgt derart, dass die Einstellwinkel θ , ϕ so lange verändert werden, bis die aus der zugehörigen Messung d berechneten Verformungskoodinaten q und h (innerhalb definierbarer Toleranzwerte ϵ) ident sind mit jenen Verformungskoodinaten q_0 und h_0 der entsprechenden Bezugsmessung. Das Aufsuchen des Messpunktes P nach der Verformung des Objektes 2 erfolgt in einem iterativen Prozess, der in Fig. 6 in einem Blockdiagramm dargestellt ist. Die Differenz zwischen der Verformungskoodinate t_i und seinem aus der Bezugsmessung resultierenden Wert t_0 stellt die Verformung entlang der Hauptverformungsachse t dar.

[0021] Zur Erhöhung der Genauigkeit der gemessenen Verformung werden nicht nur Einzelmesspunkte für sich alleine als Ergebnis herangezogen, sondern es werden auf der Oberfläche des Objektes 2 Flächen definiert, innerhalb derer Einzelmesspunkte P gemessen werden. Die Kombination der Einzelmesspunkte P zu Messflächen wird hier als Scanfläche bezeichnet. Als Ergebnis wird der Mittelwert aller Einzelmesspunkte P einer Scanfläche berechnet.

[0022] Fehler für die Messung, wie Hindernisse im Messstrahl, atmosphärische Einflüsse oder physische Änderung der Oberfläche des Objektes 2 werden von einer geeigneten Software erkannt.

[0023] Die Filterung der Messergebnisse erfolgt durch den Vergleich der gesamten Einzelpunkte einer Scanfläche der aktuellen Messepoche mit jenen der Bezugsepoche. Dabei werden die folgenden Kriterien angewendet:

- Differenzwert $\#t$ des Tunnelmeters t der aktuellen Messung zur Bezugsmessung;
- Schwellwerte $\#$ für die Differenzwerte: maximale Verformung in beiden Verformungsrichtungen, maximale Abschlagslänge (einzelner Bereich, der in einem Arbeitsgang abgebaut wird);
- Anteil der messbaren, bzw. auswertbaren Punkte der Scanfläche an der Gesamtzahl der definierten Einzelpunkte der Scanfläche.

[0024] Durch das beschriebene Verfahren können wiederholt Messungen von nicht markierten Einzelmesspunkten P durchgeführt werden, wobei Messergebnisse, die keine Folgemessung eines physisch identen Einzelmesspunktes sind, automatisiert eliminiert werden.

[0025] Für den konkreten Einsatz im Tunnelvortrieb zum Überwachen der Verformung der Ortsbrust 5 wird ein Polarmesssystem 6 mit einer Totalstation oder einem 3D-Scanner verwendet.

[0026] Als Hauptsensor S kann somit beispielsweise eine handelsübliche Totalstation eingesetzt werden, welche eine reflektorlose Entfernungsmessung ermöglicht. Um eine automatisierte Messung durchführen zu können, sollten die Fernrohrbewegungen motorisiert und automatisiert durchgeführt werden können.

[0027] Das Messverfahren wird anhand des Blockdiagramms (Fig. 6) und einer schematischen Darstellung (Fig. 7) näher beschrieben.

[0028] In einem ersten Schritt wird ein Nullmesspunkt P_0 in einer Nullmessung durch den Sensor S von einer anfänglichen Sensorposition S_0 aus gemessen und die Koordinaten $\#_0$, $\#_0$, d_0 des Punktes P_0 in ein ortsfestes euklidisches Koordinatensystem x , y , z transformiert. Danach kann die Sensorposition verändert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt T_1 wird eine Folgemessung durchgeführt. Die Koordinaten x , y , z des Punktes P_0 werden in ein Verformungskordinatensystem transferiert: $P_0(t_0, q_0, h_0)$ (Schritt 10). Das Aufsuchen der aktuellen Position des Messpunktes P erfolgt in einem iterativen Vorgang. Dabei wird ein fiktiver Hilfspunkt mit den Koordinaten t , q , h eingeführt, wobei dem Hilfspunkt als Anfangsbedingung der Iteration die Koordinaten t_0 , q_0 , h_0 des Nullmesspunktes P_0 zugewiesen werden (Schritt 20). Die Koordinaten des Hilfspunktes werden in einem weiteren Schritt in das Polarkoordinatensystem des Polarmesssystems 6 transformiert und der Sensor S auf die entsprechenden Winkel $\#_1$, $\#_1$ eingestellt (Schritt 30). Auf dem Messstrahl wird ein Hilfsmesspunkt P_1 an der Ortsbrust 5 erfasst und dessen Entfernung d_1 zur Sensorposition S_1 ermittelt (Schritt 40). Der Hilfsmesspunkt P_1 wird in das Verformungskordinatensystem transferiert, wobei ihm die Koordinaten t_1 , q_1 , h_1 zugewiesen werden (Schritt 50). In einem weiteren Schritt 60 wird untersucht, ob die Koordinaten Querablage q und Höhenablage h des Hilfspunktes P_1 vom Nullmesspunkt P_0 unterschiedlich sind, bzw. innerhalb eines definierten Toleranzbereiches s liegen. Wenn die Differenz innerhalb des Toleranzbereiches $\#$ liegt, so wird der Hilfsmesspunkt P_1 als neue Position des Messpunktes P_1 erkannt (Schritt 70). Wenn die Koordinaten für q und h ausserhalb des Toleranzbereiches liegen, so wird eine neue Iteration durchgeführt, wobei der Tunnelmeter t_1 des Hilfsmesspunktes P_1 als Koordinate t für den fiktiven Zielpunkt verwendet wird (Schritt 65). Die Zählvariable i gibt die Anzahl der durchgeführten Iterationen an.

[0029] Das Messverfahren kann nicht nur zur Überwachung einer Ortsbrust in einem Tunnelbau, sondern auch zur Überwachung von Brücken, Hochbauten, Felsobjekten, Berghängen oder dergleichen eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Deformation eines Objektes (2), insbesondere einer Ortsbrust (5) eines Grubenbaus, vorzugsweise einer Tunnelbrust, mittels eines berührungslosen Polarmesssystems (6), dadurch gekennzeichnet, dass folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:
 - a) Erfassen zumindest eines Nullmesspunktes (P_0) in einer Nullmessung mit dem berührungslosen Polarmesssystem (6), wobei vorzugsweise die Polarkoordinaten des Nullmesspunktes (P_0) in ein euklidisches Bezugskordinatensystem transformiert werden,
 - b) Definieren eines euklidischen Hauptverformungskordinatensystems, dessen erste Achse (t) parallel zu einer angenommenen Hauptverformungsrichtung des Objektes (2) angesetzt wird, wobei eine zweite und eine dritte Achse (q , h) des Hauptverformungskordinatensystems in einer Normalebene auf die erste Achse (t) liegen,
 - c) Anpeilen eines fiktiven Zielpunktes mit dem Polarmesssystem, wobei der fiktive Zielpunkt dieselben Koordinaten in der zweiten und dritten Achse (q , h) im Hauptverformungskordinatensystem aufweist, wie der Nullmesspunkt (P_0),
 - d) Erfassen eines Hilfsmesspunktes (P_1) an der Oberfläche des Objektes (2), welcher auf der Peilgeraden (v) des fiktiven Zielpunktes liegt,
 - e) Vergleichen der Koordinaten des Hilfsmesspunktes (P_1) mit den Koordinaten des Nullmesspunktes (P_0) in der zweiten und dritten Achse (q , h) des Hauptverformungskordinatensystems,
 - f) Erkennen des Hilfsmesspunktes als Verformungsmesspunkt (P_1), wenn die Abweichungen der Koordinaten zwischen dem Hilfsmesspunkt (P_1) und dem Nullmesspunkt (P_0) kleiner als ein definierter Toleranzwert ($\#$) sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte c) bis f), vorzugsweise auf iterativem Wege, solange wiederholt werden, bis der Verformungsmesspunkt (P_1) erkannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als erster fiktiver Zielpunkt der Nullmesspunkt (P_0) verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass als neuer fiktiver Zielpunkt ein Punkt verwendet wird, welcher in der ersten Achse (t) die Koordinate des Hilfsmesspunktes (P_1), in der zweiten und dritten Achse (q, h) die Koordinaten des Nullmesspunktes (P_0) aufweist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Oberfläche des Objektes (2) zumindest eine Fläche definiert wird, innerhalb der Einzelmesspunkte (P) gemessen werden, wobei mehrere Einzelmesspunkte (P) zu eine Scanfläche zusammengefasst werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die gemessenen Verformungen über alle Einzelmesspunkte (P) der Scanfläche gemittelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Messergebnisse gefiltert werden, wobei zumindest ein Verformungsmesspunkt (P_1) einer aktuellen Messepoche mit jenem einer Bezugsepoche verglichen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Messergebnis als Fehlmessung erkannt wird, wenn der Differenzwert zwischen dem aktuellen Verformungsmesspunkt (P_1) und dem Nullmesspunkt (P_0) grösser ist als ein definierter Schwellwert.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachung reflektorlos erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachung automatisch durchgeführt wird.

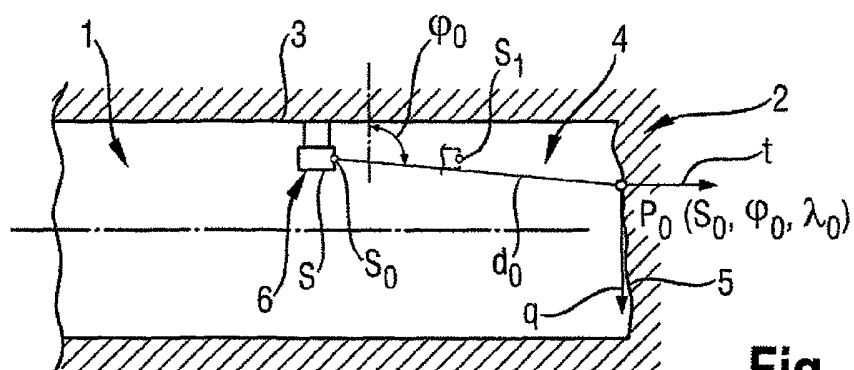


Fig. 1

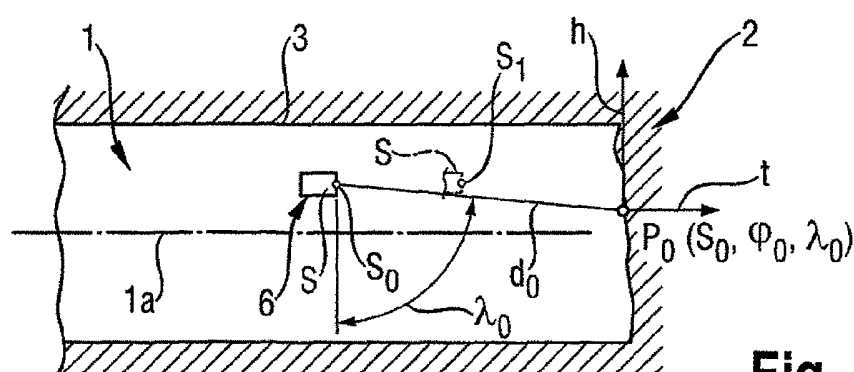


Fig. 2

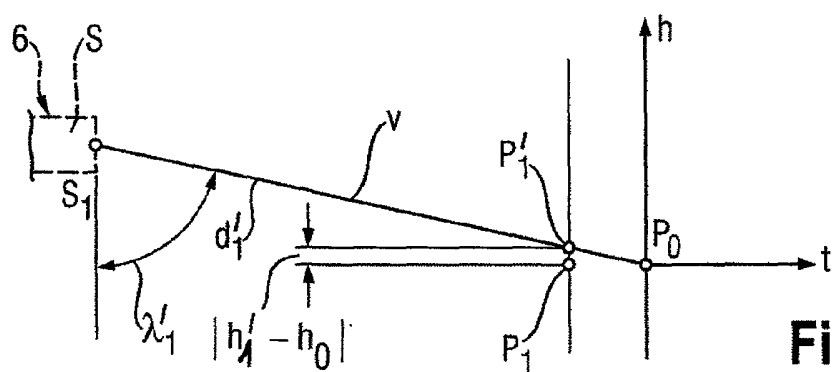


Fig. 3

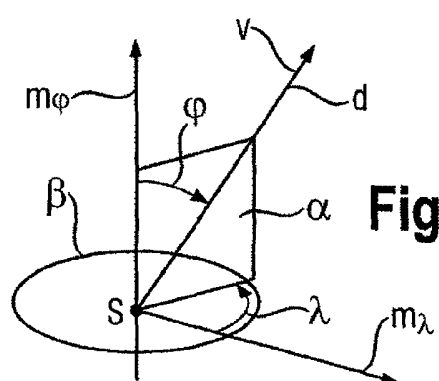


Fig. 4

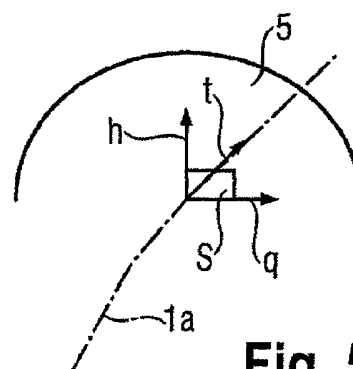


Fig. 5

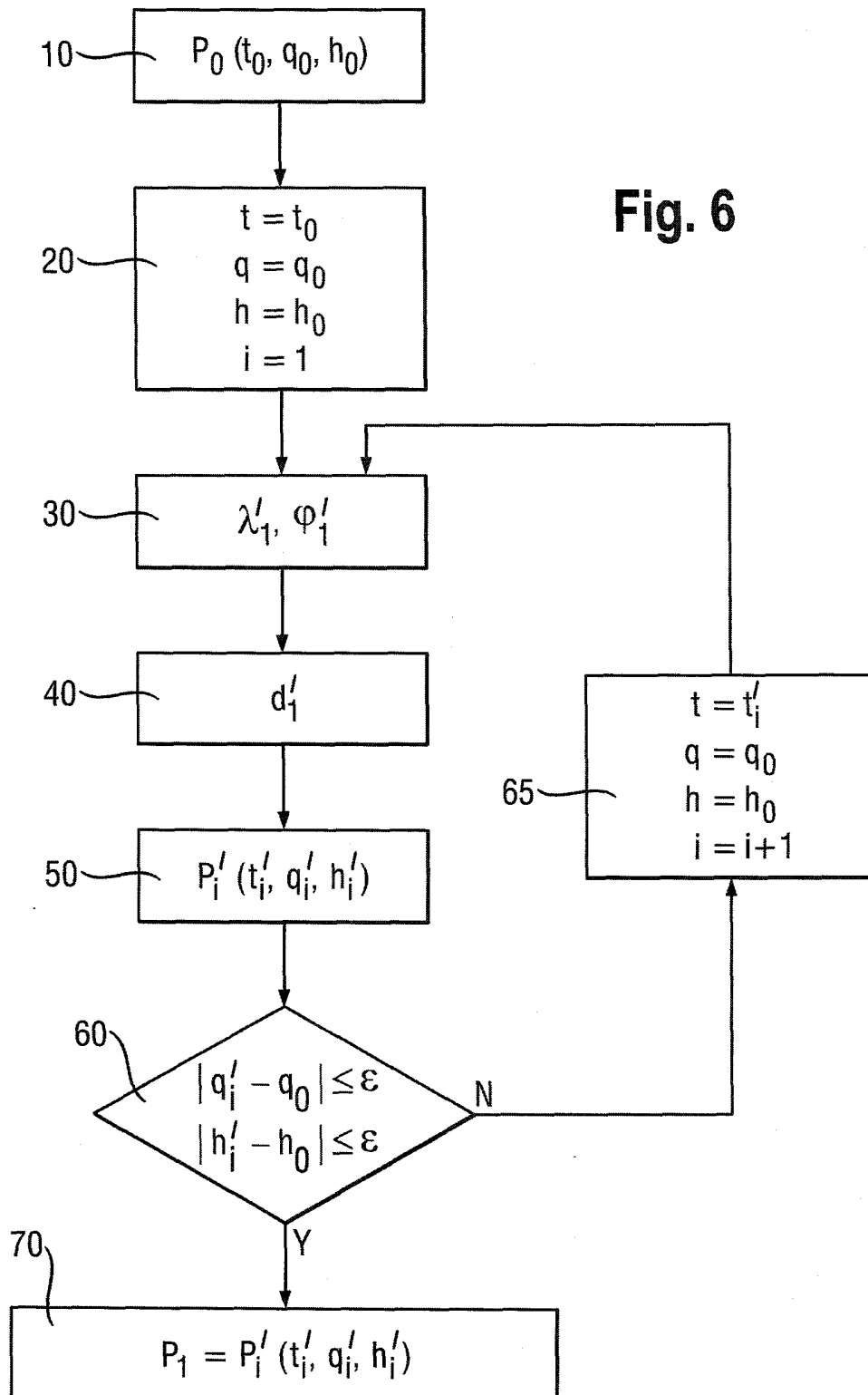
Fig. 6

Fig. 7

