



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.11.2001 Patentblatt 2001/45

(51) Int Cl.7: **F41G 3/32**

(21) Anmeldenummer: **00128755.6**

(22) Anmeldetag: **30.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Toth, Peter**
8302 Kloten (CH)
• **Badreddin, Essam, Prof.**
8134 Adliswil (CH)

(30) Priorität: **26.04.2000 CH 818002000**

(74) Vertreter: **OK pat AG**
Chamerstrasse 50
6300 Zug (CH)

(71) Anmelder: **OERLIKON CONTRAVES AG**
8050 Zürich (CH)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen Geräten**

(57) Das Verfahren dient zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen Geräten von Feuerleisystemen und Waffenanlagen durch Ausrichten von Geschützen (**G**) mit Zielmess-Sensoren (**Sg**) mittels eines Zielverfolgungsgeräts (**T**) auf ein gemeinsames Messziel (**K, K_i**), um Abweichungswerte (**D_i**) zwischen der Lage des Messziels (**K_i**) und des vom Zielverfolgungsgerät (**T**) gesteu-

erten Geschützes (**G**) zu erfassen, die durch die Visierlinie (**0**) des Zielmess-Sensors (**Sg**) dargestellt ist. Nach Auswertung der Lageabweichung wird ein Ausrichtfehlervektor (**B**) zur Berücksichtigung in einer Geschützservosteuerung aufbereitet. Die Korrektur des Ausrichtfehlervektors (**B**) wird rekursiv nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführt.

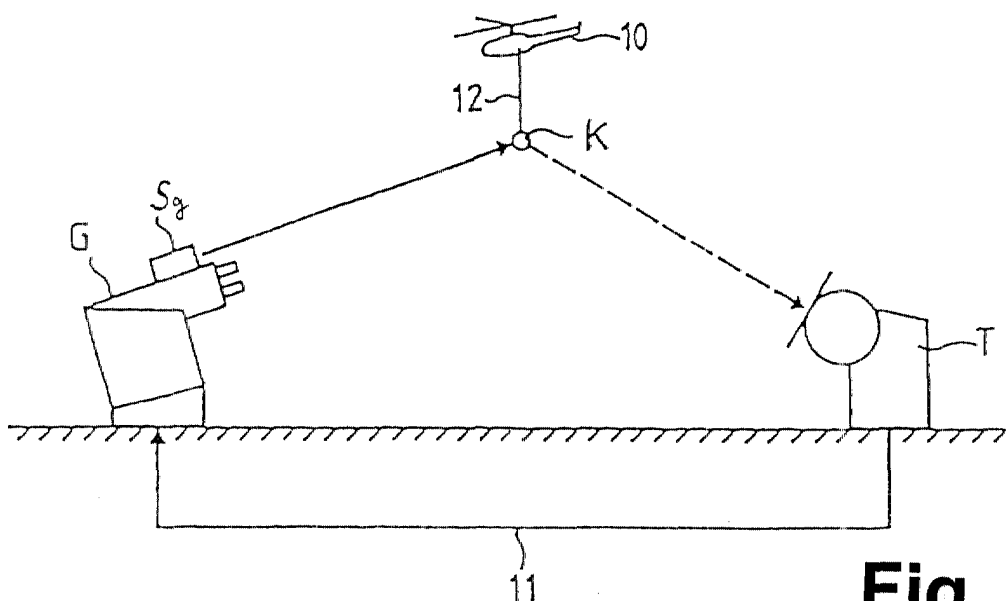


Fig. 2

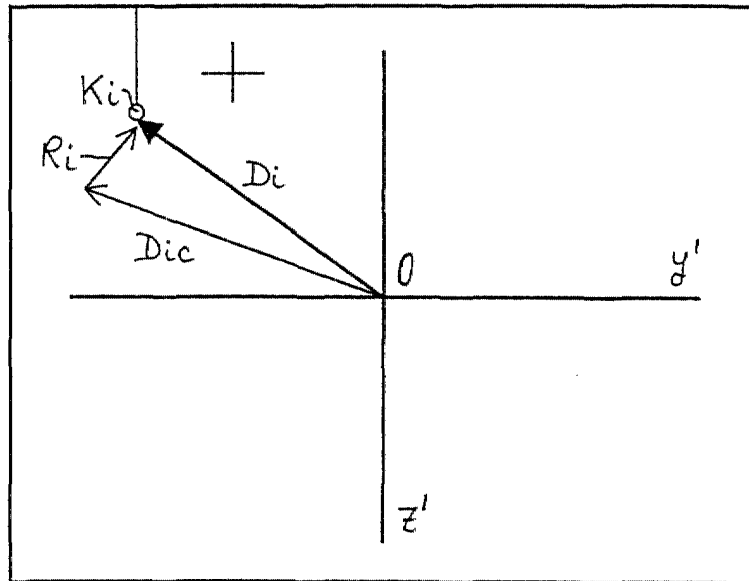


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen Geräten von Feuerleitsystemen und Waffenanlagen gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. 10.

[0002] Aus der **EP 0 314 721 B1** ist ein Verfahren zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen Lafetten und darauf angeordneten Geräten bekannt, wobei die Geräte Feuerleitsysteme und Waffeneinrichtungen sein können. Das Verfahren wird unter Verwendung von Gerätekorrekturwerten der bei ruhiggestellten Feuerleitsystemen und Waffenanlagen ausgemessenen Groblage der installierten Geräte und deren Berücksichtigung in den Servosteuerungen der Lafetten durchgeführt; die Gerätekorrekturwerte sind ab Werk bekannt und/oder werden aus Messwerten ermittelt.

[0003] Es ist **Aufgabe** der vorliegenden Erfindung, ein solches Verfahren zu verbessern und eine Vorrichtung zu seiner Durchführung vorzuschlagen.

[0004] Die **Lösung** dieser Aufgabe erfolgt in vorteilhafter Weise erfindungsgemäss durch ein Verfahren nach Patentanspruch 1 und durch eine Vorrichtung nach dem Patentanspruch 10.

[0005] Dadurch können Systemabweichungen von einer definierten idealen Geometrie berücksichtigt werden, um bei der Berechnung der Steuergrössen für die Lafettenservos die Genauigkeit im Schiessbetrieb zu erhöhen.

[0006] Andere vorteilhafte Ausführungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren abhängigen Ansprüchen.

[0007] Die Erfindung wird nachfolgend beispielsweise an Hand einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der gegenseitigen Vernetzung von Sensoreinrichtungen und Effektoreneinrichtungen bezüglich ihrer Lage,

Fig. 2 eine Einzelbeobachtung bei der Feinmessung gemäss der Erfindung,

Fig. 3 das Resultat einer Einzelbeobachtung gemäss **Fig. 2**,

Fig. 4 eine Darstellung zur Erläuterung des verwendeten Koordinatensystems,

Fig. 5 das Resultat eines ganzen Satzes von Beobachtungswerten, und

Fig. 6 das Resultat der erfindungsgemäss korrigierten Werte.

[0008] **Fig. 1** zeigt eine Anlage mit insgesamt fünf Geräten, nämlich zwei Sensoreinrichtungen in Form von Feuerleitgeräten **T1**, **T2** und drei rechnergesteuerte Effektoreneinrichtungen in Form von Geschützen **G1**, **G2**, **G3**. Die Sensoreinrichtungen und die Effektoreneinrichtungen können sich auf einem Schiff oder auch an Land befinden. Alle diese Geräte **T1**, **T2**, **G1**, **G2**, **G3** sind in Lafetten bzw. Bettungen aufgenommen und mechanisch wenigstens grob ausgerichtet.

[0009] In **Fig. 2** sind beispielsweise ein Helikopter **10** und eine einfache Anlage mit einer Sensoreinrichtung **T** und einer Effektoreneinrichtung **G** dargestellt. Die Sensoreinrichtung **T** kann beispielsweise ein ebenfalls mit **T** bezeichnetes Feuerleit- bzw. Richtgerät zur Steuerung des Geschützes **G** sein. Das Geschütz **G** kann beispielsweise mit einem TV-Sensor **Sg** versehen sein. Das Richtgerät **T** steuert über Daten- bzw. Signalleitungen **11** das Geschütz **G**. Sowohl das Geschütz **G** als auch das Richtgerät **T** zielen auf ein gemeinsames Messziel **K**, beispielsweise eine ebenfalls mit **K** bezeichnete Kugel, die an einem Trageil **12** des Helikopters **10** angehängt ist.

[0010] Mit solchen Anordnungen soll eine Korrektur für einen Ausrichtfehlervektor **B** bzw. mehrere Ausrichtfehlervektoren **B_{jk}**, in **Fig. 1** beispielsweise **B11**, **B12**, **B21**, **B22**, **B31**, **B32**, bestimmt werden. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass der Ausrichtfehlervektor **B** bzw. die Ausrichtfehlervektoren **B_{jk}** Basis-Vektoren sind, die aus Groblagemessungen, Werkmessungen usw. bekannt und gespeichert sind.

[0011] Durch das erfindungsgemässe Verfahren wird eine Feinmessung durchgeführt, um diese bekannten Werte der Ausrichtfehlervektoren **B** bzw. **B_{jk}** in mehreren Schritten bzw. nach mehreren Messungen zu verbessern. Für einen mit einem berechneten Korrektur-Vektor **P_n** korrigierten Ausrichtfehlervektor **B** gilt daher nach einer Anzahl von *i* Schritten, wobei *i* ganzzahlige Werte von 1 bis *n* sind:

$$B(\text{neu}) = B(\text{alt}) + P_n$$

[0012] Nach einer Anzahl von *n* Messungen kann angenommen werden, dass $P_n \approx P_s$, wobei P_s dem realen oder richtigen, an sich unerreichbaren Wert für die Korrektur des Systems als solchem entspricht.

[0013] Befinden sich zum Beispiel die Sensoreinrichtungen bzw. Effektoreinrichtungen auf einem Schiff, so ergibt sich bei Aenderung des Gewichts des Schiffes infolge Aenderung der Nutzladung, des vorhandenen Treibstoffs oder einer

Aenderung in der Form des Schiffskörpers usw. ein neuer Wert für den Korrektur-Vektor P_s , der durch neue, mit Hilfe der am Helikopter **10** befestigten Kugel **K** durchgeführten, Messungen wiederum annäherungsweise in Form eines neuen P_n -Werts ermittelt werden kann. Sehr kleine Aenderungen in der Form des Schiffskörpers, zum Beispiel durch Biegung oder Torsion, insbesondere nach einer Explosion, bewirken eine relativ grosse Aenderung in den Referenzwinkeln. Ein Ziel der Erfindung ist es, diese sehr kleinen Aenderungen zu berücksichtigen.

[0014] Dass in **Fig. 3** dargestellte Display zeigt, wie der TV-Sensor **Sg**, zum Beispiel das Messziel **K** bzw. die Kugel **K** 'sieht', und zwar in der tatsächlich eingenommenen Lage im allgemeinen mit einer gewissen Ablage von einem Kreuzungspunkt **0** eines Fadenkreuzes des Display. Diese unmittelbar durch den TV-Sensor **Sg** wahrnehmbare Ablage ist ein Lagefehler, der die Folge bzw. die Summe aller irgendwie gearteten Systemfehler ist; Systemfehler sind zum Beispiel mechanische Ungenauigkeiten in Folge von Herstellungstoleranzen oder Abnutzungen, Restfehler der Groblagemessung, Änderungen in der Form des Schiffskörpers, Messrauschen. Die Ablage kann als ein Spaltenvektor **Di** mit zwei Komponenten aufgefasst werden, was transponiert wie folgt darstellbar ist:

$$D_i = | dy_i' \ dz_i' |^T$$

worin dy_i' und dz_i' die Komponenten des Spaltvektors D_i in den Achsen y' bzw. z' sind. Der Betrag d der Länge des Spaltvektors D_i lässt sich gemäss **Fig. 3** berechnen zu

$$d = (dy_i'^2 + dz_i'^2)^{1/2}$$

[0015] Das Display nach **Fig. 3** ist auf eine vorbestimmte Distanz geeicht, damit die Komponenten dy_i' und dz_i' , die in Wirklichkeit Winkel sind, durch Längen bzw. Distanzen dargestellt werden können. Für den Spaltvektor D_i gilt die Beziehung:

$$D_i = M_i * P_s + R_i = D_{ic} + R_i \quad \text{mit } R_i = \text{Restfehler}$$

[0016] Faktoren, die den Restfehler R_i beeinflussen, sind neben dem thermischen Rauschen unter anderem der Seegang, Ungenauigkeiten des Servosystems und die Tatsache, dass der Operator eine in **Fig. 3** dargestellte Marke **+** nicht genau auf das Messziel in dessen momentaner Lage **K_i** bringen kann.

[0017] Im Bereich des Richtgeräts **T** und des Geschützes **G** ist ein Koordinatensystem nach **Fig. 4** definiert. Befinden sich Richtgerät **T** und Geschütz **G** auf der Erde, so ist beispielsweise die **X**-Achse nach Norden, die **Y**-Achse nach Osten und die **Z**-Achse zum Erdzentrum gerichtet. Befinden sich Richtgerät **T** und Geschütz **G** auf einem Schiff, so ist beispielsweise die **X**-Achse die Längsachse des Schiffs, die **Y**-Achse die Querachse des Schiffs und die **Z**-Achse eine rechtsdrehende, orthogonal zur **X**-Achse und zur **Y**-Achse gerichtete Achse. Im Koordinatensystem, das durch die **X**-, **Y**- und **Z**-Achse definiert ist, ist jede Position, die das Messziel **K_i** einnehmen kann, durch drei Koordinaten **x_k**, **y_k**, **z_k** bestimmt. Aus praktischen Gründen werden im Schiesswesen als Koordinaten jedoch auch die Winkel-Grössen α_k und λ_k verwendet, wobei mit α_k der Seitenwinkel und mit λ_k der Höhenwinkel bezeichnet werden; die Grössen α_k und λ_k sind somit redundant. Die Koordinaten **x_k**, **y_k**, **z_k** werden als Komponenten eines Zielvektors **0K_i** betrachtet, wobei aus diesen Koordinaten auch der Seitenwinkel α oder der Höhenwinkel λ berechnet werden kann. Die Projektion des Vektors **0K** auf die Ebene **X-Y** in **Fig. 4** definiert eine Gerade **g**; eine ebenfalls in der Ebene **X-Y** liegende und die Gerade **g** im Nullpunkt **0** senkrecht schneidende Gerade wird als **λ-Achse** gewählt.

[0018] Der eingangs erwähnte rekursiv berechnete Korrekturvektor **P_i** weist vorzugsweise vier Komponenten auf, wie folgt:

$$P_i = | \Delta x_i \ \Delta y_i \ \Delta z_i \ \Delta \lambda_i |$$

worin

Δx_i , Δy_i , Δz_i und $\Delta \lambda_i$ kleine Winkelwerte sind, wobei bedeutet:

Δx_i eine Drehung um die X-Achse,

Δy_i eine Drehung um die Y-Achse,

Δz_i eine Drehung um die Z-Achse und

$\Delta \lambda_i$ eine Drehung um die λ -Achse.

[0019] Diese Drehungen oder Verkantungen ergeben sich dadurch, dass die Drehebene der Effektoreinrichtung, also des Geschützes **G**, nicht parallel zur Drehebene der Sensoreinrichtung, also des Richtgerätes **T**, ist.

[0020] Der Fehler, der sich daraus ergibt, hat zwei Freiheitsgrade und kann daher durch die zwei Drehungen Δx_i um die **X**-Achse und Δy_i um die **Y**-Achse korrigiert werden. Die Verdrehung Δz_i um die **Z**-Achse hingegen umfasst auch die Verdrehung des Azimuts $\Delta \alpha$. Zu jeder durch einen Zielvektor **OK_i** definierten Position eines Messzieles bzw. für jeden Verfahrensschritt **i** existiert somit eine wie folgt definierte Transformationsmatrix **M_i**:

$$M_i = \begin{vmatrix} -\cos \alpha_i \sin \lambda_i & -\sin \alpha_i \sin \lambda_i & -\cos \lambda_i & 0 \\ -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

mit $i = 1, 2, 3, \dots, n$

[0021] Für jeden Verfahrensschritt **i** existiert auch eine Kovarianz-Matrix **S_i** wie folgt:

$$S_i = S_{i-1} - \frac{S_{i-1} * M_i^T * M_i * S_{i-1}}{(M_i * S_{i-1} * M_i^T + I)}$$

worin **I** eine Einheitsmatrix ist.

[0022] Schliesslich wird noch ein Fehlervektor **E** (equation error) durch folgende Gleichung definiert:

$$E_i = D_i - M_i * P_{i-1}$$

[0023] Die Berechnung wird mit folgenden Werten initialisiert:

$$P_0 = | 0 \ 0 \ 0 \ 0 |^T$$

und

$$S_0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} * C$$

worin **C** eine Konstante ist.

[0024] Die Rekursion beginnt mit Initialwerten **P₀** und **S₀**, mit berechneten Werten von **M_i** und gemessenen Werten von **D_i = | dy_i dz_i |^T**, wobei **i** bei 1 beginnt. Daraus werden die Werte von **E_i** und **S_i** gemäss den oben angegebenen Rekursionsformeln sowie anschliessend **P_i** nach folgender Rekursionsformel ermittelt:

$$P_i = P_{i-1} + S_i * M_i^T * E_i \quad \text{mit } i=1,2,3, \dots, n$$

[0025] Dieser rekursive Algorithmus minimiert den folgenden Güte-Index **J (p)** (performance):

$$J(p) = \text{Summe } (i = 1, 2, \dots, n) (D_i - M_i * P_i)^T * (D_i - M_i * P_i)$$

[0026] Der Algorithmus nach der vorliegenden Erfindung beruht auf einer Spezialanwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, bei dem man die "günstigsten" Werte dadurch erhält, dass die Summe der Quadrate der jeweiligen Differenzen zwischen dem beobachteten Wert für D_i und dem berechneten Wert für $D_{ic} \approx M_i * P_n$ ein Minimum ergibt.

[0027] Durch die Transformations-Matrix M_i wird der berechnete Korrekturvektor P_i in den Vektor D_i bzw. die Komponenten Δx_i , Δy_i , Δz_i und $\Delta \lambda_i$ in die Komponenten dy_i' , dz_i' transformiert. Um Mehrdeutigkeiten in der Beobachtungsebene (Fig. 3) zu vermeiden, wird eine Matrix S verwendet. Die Matrix S ist die oben aufgeführte Kovarianz-Matrix, die insbesondere für orthogonal-symmetrisch ausgelegte Messungen zu einer diagonalsymmetrische Matrix mit schwindenden Werten in der Diagonale führt, das heisst, dass die Spur Sp oder Konvergenzzahl nach 0 strebt. Versuche bezüglich der Kommastellen dieser Konvergenzzahl haben gezeigt, dass es vorteilhaft ist, für die Konstante C beispielsweise den Wert 49.25 oder 492.5 usw. zu wählen. Bei $C = 49.25$ sinkt der Wert der Spur der Kovarianz-Matrix S_n von anfänglich 99,99... auf etwa 0.03 bei einer ausreichend grossen Anzahl n von Messungen bzw. Schritten. Die Konstante C kann jedoch auch 1 sein oder einen beliebigen Wert haben. Nach einer Anzahl n Messungen bzw. Rekursionsschritte, beispielsweise $25 < n < 400$, vorzugsweise $n \approx 200$, strebt der Wert von P_n nach dem gesuchten Wert P_s .

[0028] Fig. 5 zeigt, jeweils durch ein Kreuz $+$, eine Anzahl tatsächlicher Positionen des vom Helikopter 10 getragenen Messziels K . In Fig. 6 sind die entsprechenden korrigierten Werte dieser Positionen dargestellt. Geht das X - Y - Z -Koordinatensystem von einem Schiff aus, so fliegt der Helikopter 10 vorzugsweise in einer kreisförmigen Bahn mit einem Radius in der Grössenordnung von 1.5 km, jedoch schraubenlinienförmig bzw. mit steigender Höhe α_{Ti} , λ_{Ti} , Δ_{Ti} um das Schiff herum. Auf Grund der vom Richtgerät T ermittelten Daten und unter Berücksichtigung von bisher bekannten Parametern, insbesondere Parallaxen zwischen dem Richtgerät T und dem Geschütz G , wird die Sensorvisierlinie 0 des Geschützes G (anstatt der mit einer kleinen Parallaxe versetzten Schusslinie bzw. Waffenrohrachse des Geschützes G) vorzugsweise automatisch durch die Steuerung bestmöglich auf ein Messziel K_i gerichtet. Der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes der Visierlinie des Sensors S_g (Fig. 3) zeigt in die Richtung, in der das Messziel K_i erwartet wird.

[0029] In Fig. 5 bezieht sich daher jeder mit einem Kreuz $+$ markierte Punkt auf je einen gemessenen Wert von α_{Ki} bzw. λ_{Ki} das heisst auf den Seitenwinkel bzw. den Höhenwinkel des Geschützes G , die der jeweiligen Position K_i des vom Helikopter 10 getragenen Messzieles K entsprechen. Fig. 6 entspricht hingegen den theoretischen Werten von α bzw. λ , die man nach den Korrekturen gemäss dem vorliegenden Verfahren unter genau denselben Bedingungen messen würde, wenn eine solche weitere Messung überhaupt praktisch durchführbar wäre. In Wirklichkeit ist es unmöglich, solche weitere Messungen mit dem Helikopter 10 in genau denselben Positionen wie bei früheren Messungen, und unter denselben Schiffsbedingungen usw. durchzuführen.

[0030] Theoretisch müssten - dank der erfolgten Korrektur - in Fig. 6 alle Punkte $+$ in den Nullpunkt 0 fallen. Wegen der im System unvermeidlich vorhandenen Restfehler R_i , wie in Fig. 6 dargestellt, fallen die Punkte $+$ nicht in den Nullpunkt 0 , das heisst, man erhält statistisch verteilte Abweichungen vom Nullpunkt 0 , deren Verteilung allerdings mittelwertfrei ist, das heisst, dass der Mittelwert der Abweichungen der Punkte in beiden Achsen Null ist.

[0031] Im Vergleich zu anderen, mit verschiedenen Durchläufen arbeitenden, Algorithmen für die Rechner ähnlicher Systeme erweist sich der Algorithmus nach der vorliegenden Erfindung besonders vorteilhaft im Hinblick darauf, dass die Initialisierung nach der Erfindung völlig unproblematisch ist und dass es nie zu Singularitäten (Determinante = 0) kommt, so dass man keinerlei 'Entgleisung' des Programms befürchten muss. Solche 'Entgleisungen' könnten beispielsweise vorkommen, wenn man für jeden Durchlauf versucht, Messwerte an eine vorgegebene Kurve, wie eine Sinus-Kurve, anzupassen.

[0032] Wie beim System nach der Patentschrift **EP 0 314 721 B1** haben die auf Messungen beruhenden Korrekturdaten, mit welchen die Ausrichtfehlervektoren korrigiert werden, eine die Fehlauseinrichtung in Echtzeit korrigierende Wirkung. Die Messungen können von Zeit zu Zeit, zum Beispiel nach vier oder sechs Wochen, neu durchgeführt werden, um die Korrekturdaten an sich verändernde Verhältnisse, beispielsweise eines Schiffes, anzupassen. Dies bedeutet, dass die von Zeit zu Zeit gewonnenen Messwerte in das System integriert werden können und dass sie daher system-inhärent sind und somit jeweils einem nicht direkt beobachtbaren Fehler entsprechen.

[0033] Die Sensoreinrichtung T (Tracker) kann ein Sensor, ein Richtgerät, ein Radar-, Laser- oder ein Infrarotgerät usw. sein, oder es können mehrere solcher Geräte kombiniert werden. Als Effektoreinrichtungen G (Geschütze) kommen nicht nur herkömmliche Geschütze wie beispielsweise Kanonen sondern auch Raketenabschussvorrichtungen oder Laserkanonen in Frage. Die Messungen können für verschiedene G/T -Paare **B11**, **B12**, **B21**, **B22**, ... (vgl. Fig. 1) durchgeführt werden, wobei eine Sensoreinrichtung T auch mehrere Effektoreinrichtungen G steuern kann.

[0034] Die an Hand der Figuren beschriebene Anlage kann die notwendigen Steuerungen, Computer-Mittel bzw. Hardware und Programme bzw. Software aufweisen, um die verschiedenen verfahren bzw. Teilverfahren nach den beanspruchten Varianten oder in jeder Kombination derselben zu realisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen einer Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) und einer über eine Servosteuerung von der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) gesteuerten Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) durch Korrektur eines Ausrichtfehlervektors (**B**),

gekennzeichnet durch

folgende Verfahrensschritte:

- a) Ausrichten der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) auf ein Messziel (**K_i**),
- b) Ausrichten eines in der Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) vorhandenen Zielmess-Sensors (**Sg**) auf dieses Messziel (**K_i**), das somit ein gemeinsames Messziel (**K_i**) der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) und der Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) darstellt,
- c) Erfassen eines Abweichungswertes (**D_i**) zwischen der Lage der Visierlinie (0) des Zielmess-Sensors (**Sg**), wie sie sich aus der von der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) gesteuerten Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) ergibt, und der Lage des Messziels (**K_i**), wie sie vom Zielmess-Sensor (**Sg**) wahrgenommen wird;
- d) Verwendung eines vorhandenen Ausrichtfehlervektors (**B**) als Eingangssignal der Steuerung, und
- e) Durchführung einer anschließenden Korrektur des Ausrichtfehlervektors (**B**) auf Grund des Abweichungswertes (**D_i**) rekursiv nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** zur Korrektur eines Ausrichtfehlervektors (**B**) ein rekursiv in Verfahrensschritten $i = 1, \dots$ bis $i = n$ berechneter Vektor (**P_n**) gewonnen wird, der für jede gemessene Position des Messzieles (**K_i**) mindestens zwei Komponenten bzw. Koordinaten des Abweichungswertes (**D_i**) aufweist, und
- **dass** die Korrektur eines berechneten Vektors (**P_i**) durch Multiplikation eines Initialwertes oder eines vorhergehend berechneten Vektors mit einer Transformation der Koordinaten des Messzieles in Funktion des Seitenwinkels (α_{gi}) und des Höhenwinkels (λ_{gi}) des Zielmess-Sensors (**Sg**) bewirkenden Transformationsmatrix (**M_i**) durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Transformationsmatrix wie folgt definiert ist:

$$M_i = \begin{vmatrix} -\cos \alpha_i \sin \lambda_i & -\sin \alpha_i \sin \lambda_i & -\cos \lambda_i & 0 \\ -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

mit $i = 1, 2, 3, \dots, n$

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass für jeden Verfahrensschritt i auch eine Kovarianz-Matrix (**S_i**) wie folgt

$$S_i = S_{i-1} - \frac{S_{i-1} * M_i^T * M_i * S_{i-1}}{(M_i * S_{i-1} * M_i^T + I)}$$

verwendet wird, wobei **I** eine Einheitsmatrix ist, für die Initialisierung der Rekursion ein Initialwert von **S₀** verwendet wird und $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,

dass ein Fehlervektor (**E**) gemäss folgender Rekursionsformel

$$E_i = D_i - M_i * P_{i-1}$$

gewonnen wird, worin $D_i = |dy_i' dz_i'|$ ein Vektor mit den Komponenten der Abweichungswerte (**d**) ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass die rekursiven Verfahrensschritte mit frei wählbaren Werten für P_0 , S_0 , mit berechneten Werten von M_i und mit gemessenen Werten von $D_i = |dy_i' dz_i'|^T$ beginnend mit $i = 1$ durchgeführt werden, und dass daraus der Fehlervektor (E_i) gemäss der genannten Rekursionsformel

$$E_i = D_i - M_i * P_{i-1} \text{ und}$$

der Korrekturvektor (P_i) nach folgender Rekursionsformel

$$P_i = P_{i-1} + S_i * M_i^T * E_i \quad \text{mit } i=1,2,3, \dots, n$$

abgeleitet werden:

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Korrektur-Vektor (P_i) mit mindestens zwei aus folgenden vier Komponenten Δx_i , Δy_i , Δz_i und $\Delta \lambda_i$ gebildet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Berechnung mit dem Korrekturvektor $P_i = |\Delta x_i \Delta y_i \Delta z_i \Delta \lambda_i|$ durchgeführt und mit folgenden Werten $P_0 = |0 \ 0 \ 0 \ 0|^T$ und

$$S_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * C$$

initialisiert wird, worin C eine Konstante ist, die vorzugsweise den Wert 49.25 aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass das gemeinsame Messziel (K_i) auf vorgegebenen Bahnen, vorzugsweise mittels eines Helikopters (**10**), im Raum geführt wird.

10. Vorrichtung zur Korrektur von Ausrichtfehlern zwischen einer Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) und einer über eine Servosteuerung von der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) gesteuerten Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) durch Korrektur eines Ausrichtfehlervektors (**B**), wobei

die Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) ausgebildet ist, um auf ein Messziel (K_i) ausgerichtet zu werden, wobei in der Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) ein Zielmess-Sensor (**Sg**) vorhanden ist, der ausgebildet ist, um auf dieses Messziel (K_i) ausgerichtet zu werden, das somit ein gemeinsames Messziel (K_i) der Sen-

soreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) und der Effektoreinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) darstellen kann,
wobei Display-Mittel vorhanden sind, um einen Abweichungswert (**D_i**) zwischen der Lage der Visierlinie (**0**)
des Zielmess-Sensors (**Sg**), wie sie sich aus der von der Sensoreinrichtung (**T**; **T1**, **T2**) gesteuerten Effekto-
reneinrichtung (**G**; **G1**, **G2**, **G3**) ergibt, und der Lage des Messziels (**K_i**), wie sie vom Zielmess-Sensor (**Sg**)
5 wahrgenommen wird, zu erfassen,
und wobei Computer-Mittel vorhanden sind,
um aus einem vorhandenen Ausrichtfehlervektor (**B**) ein Eingangssignal für die Servosteuerung zu gewinnen,
und
um anschliessend eine Korrektur des Ausrichtfehlervektors (**B**) auf Grund des Abweichungswertes (**D_i**) rekur-
10 siv nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchzuführen.

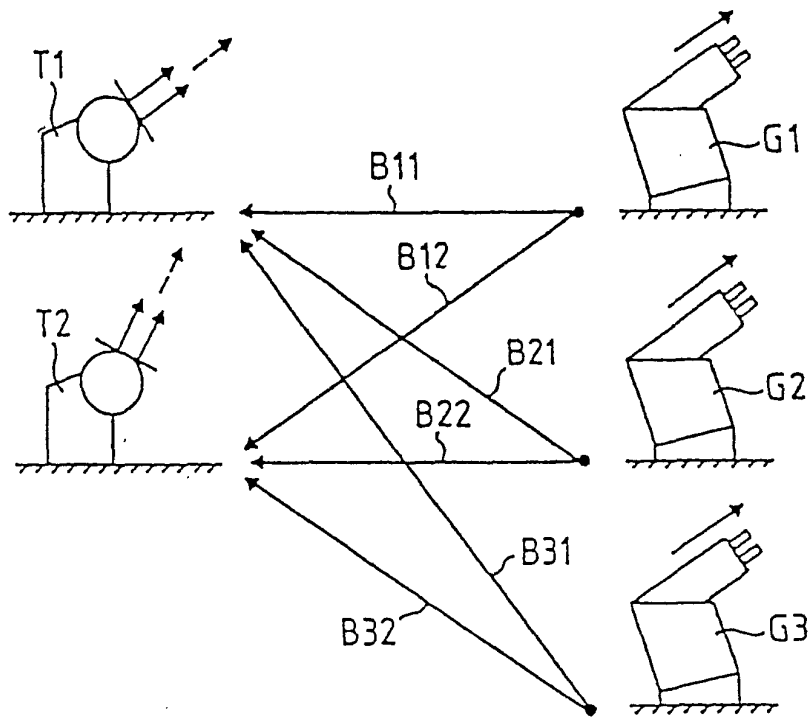


Fig. 1

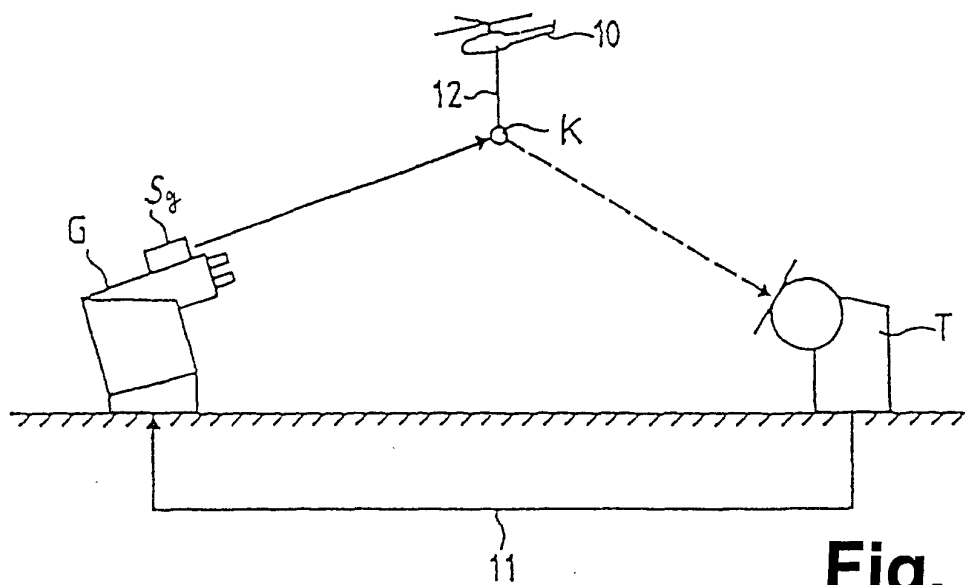


Fig. 2

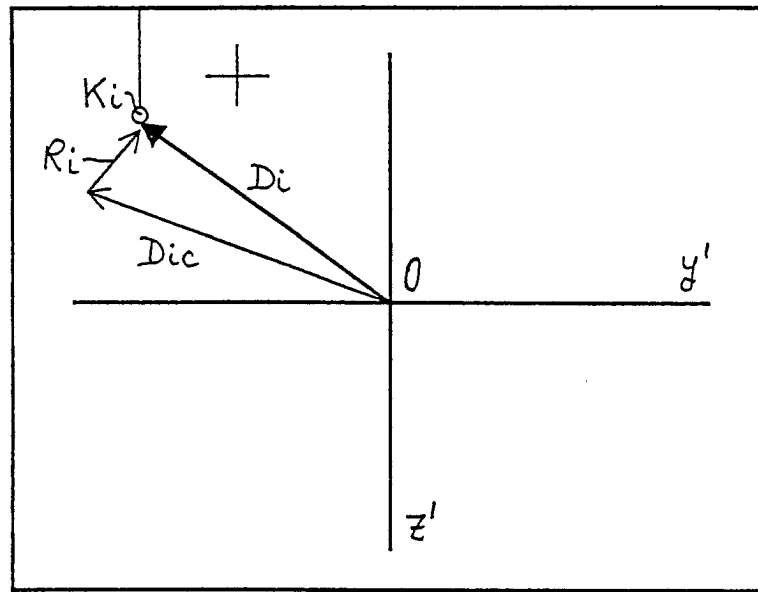


Fig. 3

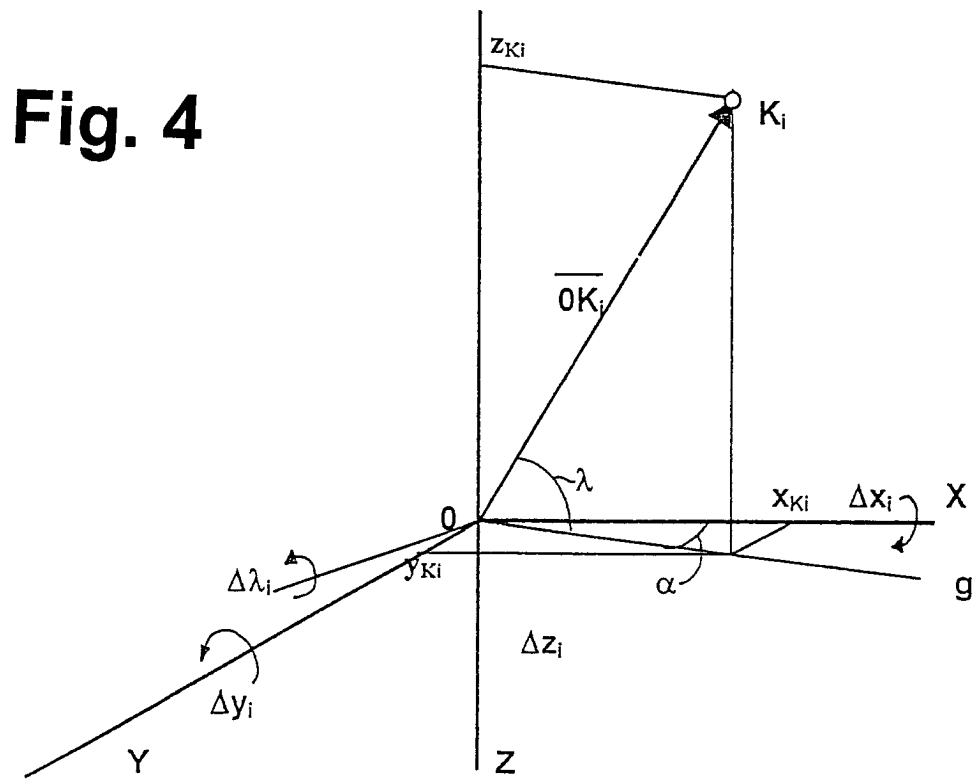


Fig. 4

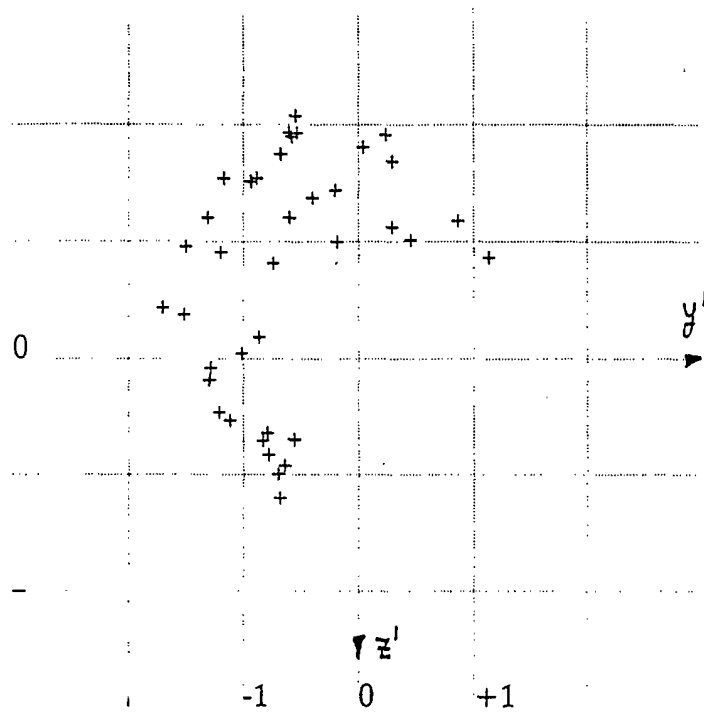


Fig. 5

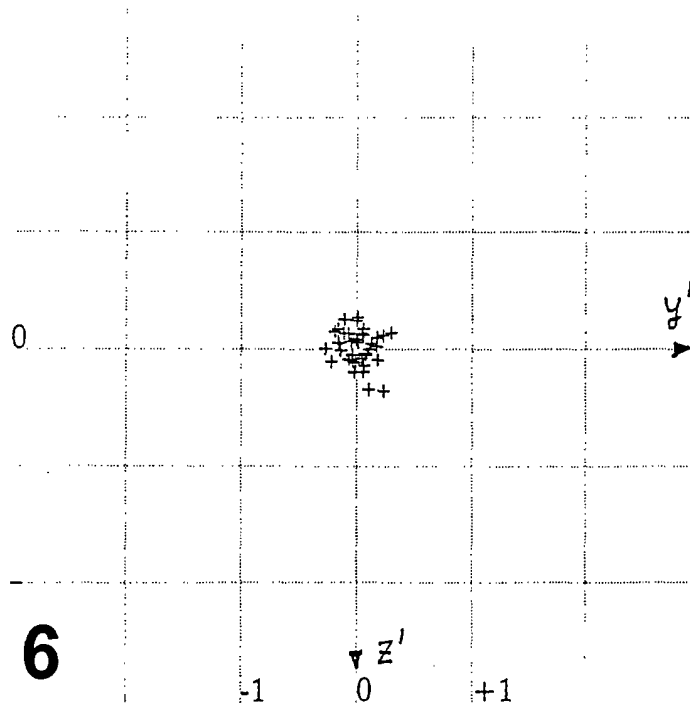


Fig. 6



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 12 8755

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|--|---|---|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| A,D | WO 88 08952 A (CONTRAVES AG) 17. November 1988 (1988-11-17) * Zusammenfassung * * Seite 1, Zeile 1 - Seite 19, Zeile 22; Abbildungen 1-5 * | 1,9,10 | F41G3/32 |
| A | US 5 303 878 A (MCWILLIAMS JOEL K ET AL) 19. April 1994 (1994-04-19) * Zusammenfassung * * Spalte 3, Zeile 11 - Spalte 8, Zeile 17; Abbildungen 1-6 * | 1,2 | |
| | | | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) |
| | | | F41G |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenort DEN HAAG | | Abschlußdatum der Recherche 27. August 2001 | Prüfer Blondel, F |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | | |

EPC FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 12 8755

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-08-2001

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 8808952 A | 17-11-1988 | AU 605591 B | 17-01-1991 |
| | | AU 1688388 A | 06-12-1988 |
| | | DE 3883916 D | 14-10-1993 |
| | | EP 0314721 A | 10-05-1989 |
| | | KR 9614641 B | 19-10-1996 |
| | | TR 27014 A | 15-09-1994 |
| | | US 5208418 A | 04-05-1993 |
| ----- | | | |
| US 5303878 A | 19-04-1994 | DE 69214584 D | 21-11-1996 |
| | | DE 69214584 T | 27-02-1997 |
| | | EP 0530050 A | 03-03-1993 |
| ----- | | | |

EPO FORM P0451

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82