



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 219 856 A5

4(51) G 01 C 11/02

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	AP G 01 C / 263 790 3	(22)	04.06.84	(44)	13.03.85
(31)	21437A/83	(32)	03.06.83	(33)	IT

(71) siehe (73)  
 (72) Bozzolati, Giovanni, IT  
 (73) AGIP SPA, Rome, IT

## (54) Stereophotogrammetrisches Vermessungsverfahren

(57) Erfindungsgemäß wird ein Objekt großer Abmessungen an beliebiger Stelle aus einer Höhe von etwa 30 m zusammen mit einer Kette photographiert, deren Länge zwischen zwei daran angeordneten Bezugsmarken vorab gemessen wurde. Zum Photographieren dienen zwei synchronisierte Meßkameras, die etwa einen Abstand von 6 m voneinander haben. An dem mittels eines Stereoplotters vom Vermessungsobjekt hergestellten stereoskopischen, optischen Modell werden Tiefenmessungen (2-Achse) mit dem beweglichen Pfeil des Stereoplotters an acht Sätzen von Punkten gemacht, die an den acht herkömmlichen perimetralen Orten photogrammetrischer Orientierung gruppiert sind und gleichmäßig je zur Hälfte auf dem Niveau der Wellenkämme und in den Wellentälern des Wassers oder Bodens liegen. Dann wird das Mittel der Messungen berechnet, um die mittlere horizontale Ebene zu bestimmen, und das Modell in bezug auf diese Ebene durch Drehung ausgerichtet. Schließlich wird die Länge der Kette zwischen den beiden Bezugsmarken am Modell gemessen. Das Verhältnis zwischen diesem und dem bekannten, im voraus gemessenen Wert ergibt den Wert des Wiedergabemaßstabs. Fig. 1

Berlin, den 20.09.1984

64 077/16

## Stereophotogrammetrisches Vermessungsverfahren

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein stereophotogrammetrisches Vermessungsverfahren für groß bemessene Objekte, die sich insbesondere auf dem Meer, aber auch an Land befinden, bei dem mit Hilfe eines Stereoplotters ein stereoskopisches, optisches Modell des Vermessungsobjektes anhand eines oder mehrerer Paare von Photographien des Vermessungsobjektes, die von zwei verschiedenen Aufnahmestellen gemacht wurden, hergestellt wird.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Neben dem klassischen Verfahren, bei dem Metallbänder mit Dynamometern verwendet werden, sind verschiedene Meßtechniken, z. B. in der Topographie und Geodäsie bekannt, bei denen spezielle Instrumente, wie Theodoliten, Tachometer, elektronische Entfernungsmesser sowie Koinzidenz- oder stereoskopische Fernmeßeinrichtungen eingesetzt werden. Wenn es aber die Abmessungen oder die Kompliziertheit des Meßobjekts nötig macht, daß eine Vielzahl von Daten gesammelt und statistisch weiterverarbeitet werden muß, erweisen sich die genannten Verfahren nicht nur als unpraktisch sondern ganz entschieden auch als unwirtschaftlich.

Dann wird die Stereophotogrammetrie angewandt. Dies ist ein wegen seiner Leistungsfähigkeit weit verbreitetes Verfahren, welches für die planimetrische und altimetrische Vermessung unbeweglicher Objekte an Land, beispielsweise von Gebäuden,

Ruinen, Konstruktionen usw. oder des Landes selbst in plano-altimetrischen, topographischen, kartographischen und anderen Anwendungsfällen allgemein bekannt ist. Die Stereophotogrammetrie beruht im wesentlichen auf einer Meßtechnik des Meßobjektes, bei der nicht das Objekt selbst sondern eine dreidimensionale, photographische Abbildung oder ein stereoskopisches, optisches Modell desselben benutzt wird, dessen Gestalt und Abmessungen im Raum von einem Stereoplotter wiedergegeben werden. Hierzu wird ein Paar oder mehrere Paare Photographien des Meßobjektes verwendet, die jeweils von zwei unterschiedlichen Aufnahmepunkten gemacht wurden.

Das bekannte Verfahren der stereophotogrammetrischen Vermessung sieht im wesentlichen vor, von zwei verschiedenen Punkten zwei oder mehrere Paare Photographien eines Vermessungsobjektes zu machen, um stereoskopische Abbildungen des Objekts selbst zu erhalten. Dazu werden im voraus die Raumkoordinaten von mindestens fünf charakteristischen Punkten, entweder am Objekt selbst oder in seiner Nähe, bestimmt. Diese sind nötig, um die unzweideutige und exakte Rekonstruktion eines stereoskopischen Modells ohne Parallaxenfehler zu ermöglichen, das Modell im Raum durch entsprechendes Drehen zu begradigen und auszurichten, bis es absolut horizontal liegt, und schließlich um den planimetrischen Maßstab des stereoskopischen Modells selbst exakt festzulegen. Die genannte Bestimmung der fünf Punkte auf den X-, Y- und Z-Raumkoordinaten erfolgt gemäß bekannter topographischer Verfahren. Ausgehend von den Photographien wird im Labor eine dreidimensionale Abbildung oder ein optisches Modell des Vermessungsobjektes mit einem Stereoplotter hergestellt, und nach der richtigen Ausrichtung des Modells werden an dem Modell statt am tatsächlichen Objekt die nötigen Messungen vorgenommen. Dabei ist die Skala, die die Umwandlung jeder beliebigen linearen Messung an dem opti-

schen Modell in die entsprechende Entfernung am tatsächlichen Modell ermöglicht, bereits bekannt. Schließlich werden die gemachten Messungen auf Band aufgezeichnet und elektronisch weiterverarbeitet, um mit einem Kurvenschreiber aufgezeichnete graphische Ergebnisse oder numerische Ergebnisse in Tabellenform nach entsprechender Datenverarbeitung zu erhalten.

Das Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß es bei gewissen Vermessungsfällen nicht anwendbar ist, wo z. B. aus praktischen Gründen der Personalsicherheit aufgrund der unwirtschaftlichen und/oder gefährlichen Umgebung, oder wegen der aufgrund der Baustellenerfordernisse zur Verfügung stehenden kurzen Zeit oder aus anderen zwingenden Gründen absolut keine Möglichkeit besteht, im voraus die Raumkoordinaten der fünf Punkte zu bestimmen.

Das ist im allgemeinen der Fall wenn Offshore-Plattformen zur Erdölgewinnung im offenen Meer errichtet werden sollen. In diesem Fall ist es nach dem Eintreiben von Stützrohren in den Meeresboden zum Einbau einer festen Produktions- oder Förderanlage mittels des Einrohrsystems nötig, den genauen Abstand zwischen den Mitten der Rohrenden zu bestimmen, damit die darauf zu lagernde Plattform exakt ausgelegt werden kann, denn deren Beine müssen auf den Enden der Stützrohre selbst genau aufliegen. Hierbei ergibt sich das Problem, daß mit einer spezifizierten Näherung von 1-2 cm die Entfernung zwischen den nicht einmal markierten Zentren der Stützrohre bestimmt werden muß, von denen drei oder mehr mit einem Durchmesser von 2-3 m etwa um 8-12 m aus dem Meer herausragen und in einem Abstand von 20-30 m voneinander sowie 20-50 km von der Uferlinie entfernt eingerammt sind.

Außerdem muß jedes Stützrohr auf Unregelmäßigkeiten im Umfang und in der Dicke sowie auf das Vorhandensein von Beulen aufgrund von Kollisionen mit Wasserfahrzeugen untersucht werden. Ferner muß die vertikale Genauigkeit, mit der die Stützrohre eingerammt sind, bestimmt werden, so daß eine Vielzahl von Messungen nötig ist, die eigentlich nur die stereophotogrammetrische Methode erlaubt. Aber wegen des wesentlichen Erfordernisses, ständig die Sicherheit des Personals zu berücksichtigen, ist es unmöglich, die nötigen Messungen unmittelbar mit ausreichender Genauigkeit vorzunehmen. Deshalb kann das genannte Verfahren nicht angewendet werden.

#### Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, das Anwendungsgebiet wesentlich zu erweitern, den Zeitaufwand und die Kosten zu reduzieren und einfache, betriebssichere Messungen mit hoher Genauigkeit zu ermöglichen.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, diesen Nachteil durch ein Vermessungsverfahren zu vermeiden, bei dem zwar die Stereophotogrammetrie angewandt wird, aber trotzdem keine direkten Messungen an dem Vermessungsobjekt vorgenommen werden müssen, dabei soll eine leichte und exakte Vermessung selbst von solchen Objekten ermöglicht werden, die sich an unbequeme und verhältnismäßig unzugänglicher Stelle befinden, wie der Stützrohre für den Einbau von Offshore-Plattformen.

Gemäß der Erfindung ist beim stereophotogrammetrischen Vermessungsverfahren für groß bemessene Objekte, die sich insbesondere auf dem Meer, aber auch an Land befinden, bei dem mit Hilfe eines Stereoplotters ein stereoskopisches, optisches Modell des Vermessungsobjektes anhand eines oder mehrerer Paare

von Photographien des Vermessungsobjektes, die von zwei verschiedenen Aufnahmestellen gemacht wurden, vorgesehen, daß der Reihe nach folgende Schritte durchgeführt werden: an dem Vermessungsobjekt wird eine nicht dehbare Stahlkette, die sich nicht verheddern kann, und an der zwei Bezugsmarken oder Bezugssignale in einem bekannten, exakt im voraus gemessenen Abstand fest angebracht sind, die auf aus einer Entfernung von 30-40 m gemachten Photogrammen zuverlässig sichtbar sind, so eingehakt, daß sie ständig vollkommen sichtbar ist; das Vermessungsobjekt wird aus einer Entfernung von ca. 30 m von zwei synchronisierten photographischen Meßkamas aufgenommen, die einen exakt bekannten Abstand von ca. 6 m voneinander haben; anhand der entstehenden Photographien wird mit Hilfe eines Stereoplotters ein stereoskopisches, optisches Modell des Vermessungsobjekts angefertigt; an dem stereoskopischen, optischen Modell werden acht Sätze von Punkten in angemessener Anzahl gemessen, die an den acht herkömmlichen perimetrischen Orten photogrammetrischer Orientierung gruppiert sind und gleichmäßig zur Hälfte auf dem Niveau der Kämme (positives Maximum) und zur anderen Hälfte in den Tälern (negatives Maximum) der Wellen des Wassers oder des Bodens liegen; diese Messungen werden statistisch weiterverarbeitet und das durchschnittliche Niveau der horizontalen Ebene bestimmt; das stereoskopische, optische Modell wird durch entsprechende Drehung auf der durchschnittlichen horizontalen Ebene korrekt ausgerichtet; an dem auf diese Weise orientierten optischen Modell wird im photographischen Maßstab die Länge des Kettenbogens bestimmt, der zwischen den beiden Bezugsmarken oder Bezugssignalen der Stahlkette liegt, indem die Summe der Längen kleiner Bogensegmente gebildet wird, die einem Kettenglied der Stahlkette entsprechen; der Maßstab wird als das Verhältnis zwischen dem bestimmten Wert und dem exakt im voraus gemessenen Wert festgelegt; und dieser Maßstab wird zum Umwandeln jeder linearen Messung an dem opti-

schen Modell in die entsprechende Entfernung an dem tatsächlichen Vermessungsobjekt verwendet.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung werden zwei synchronisierte photographische Meßkameras in einem exakt bekannten Abstand voneinander mit Hilfe eines Trägers angeordnet, der aus hochfestem Metall, z. B. Duralumin, Sonderstahl usw. besteht. An den Enden dieses Trägers werden die Kameras verstellbar angebracht. Man photographiert das Vermessungsobjekt entweder von einem Hubschrauber aus, aus dessen beiden Türen man den Träger freitragend herausragen läßt, oder von einem hohen Kran aus, mit dem man den Träger, gegebenenfalls eingesetzt in einem Käfig oder Korb, ca. 30 m hochzieht.

Das Vermessungsverfahren erlaubt an Objekten mit großen Abmessungen und von beliebiger Kompliziertheit, selbst wenn sie sich an unbequemen oder verhältnismäßig unzugänglichen Stellen befinden, äußerst einfache, betriebssichere Messungen kleinster Art mit hoher Genauigkeit bei beträchtlicher Zeit- und Kostenersparnis vorzunehmen.

Erfindungsgemäß werden die photographischen Aufnahmen des Vermessungsobjekts aus einer Entfernung von ca. 30 m mit zwei photographischen Meßkameras gemacht, die miteinander synchronisiert und in einem bekannten Abstand von ca. 6 m voneinander angeordnet sind. Damit kann die nötige Genauigkeit der Tiefenmessung mit dem Stereoplotter bei einem maximal erlaubten Fehler von  $\pm 1$  cm erzielt werden. Auf diese Weise wird ein genaues stereoskopisches Modell erhalten, an dem Präzisionsmessungen vorgenommen werden können. Diese Messungen betreffen nicht nur stationäre Objekte, beispielsweise die Stützrohre von Offshore-Plattformen, sondern sie können auch an beweglichen Objekten gemacht werden, beispiels-

weise Oberflächenflüssigkeiten, Schwimmkörpern, hängenden Kabeln usw. Durch einfaches Einsetzen eines Vergleichselements in das Feld der photographischen Aufnahme kann nicht nur das stereoskopische Modell exakt ausgerichtet sondern auch jede beliebige lineare Messung des tatsächlichen Vermessungsobjekts erhalten werden, da der planimetrische Maßstab ohne weiteres erkennbar ist. Als Vergleichselement wird z. B. eine nicht verlängerbare Stahlkette in das Bildfeld eingeführt, die sich nicht verheddern kann, und deren Länge im voraus exakt gemessen worden ist.

#### Ausführungsbeispiel

Im folgenden ist die Erfindung mit weiteren vorteilhaften Einzelheiten anhand schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1: eine Darstellung der Verfahrensstufe, bei der eine Kette von bekannter Länge zwischen zwei beliebigen Stützrohren eingehängt ist;

Fig. 2: die Stufe, bei der gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Luftbild von einem Hubschrauber gemacht wird;

Fig. 3: die Stufe, bei der gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel die Aufnahme mit Hilfe eines großen Krans gemacht wird;

Fig. 4: die Darstellung eines mittels Stereoplotter erhaltenen stereoskopischen, optischen Modells, an dem die Messungen vorgenommen werden.

In den Zeichnungen ist die Erfindung in Anwendung bei dem Einbau einer Offshore-Plattform gezeigt, bei dem im wesentlichen der genaue Abstand zwischen den Mitten der Enden von drei in den Meeresboden eingetriebenen Stützrohren bestimmt werden muß.

In den Figuren sind drei Stützrohre 1, 2 bzw. 3 mit einem Durchmesser von 2-3 m gezeigt, die insgesamt in einer Entfernung von 20-50 km von einer Küstenlinie 5 in den Boden des Meeres 4 eingerammt sind und um etwa 8-12 m aus dem Meer herausragen, um eine aufzulegende Plattform zu stützen. Die Beine der Plattform müssen genau auf den Enden der Stützrohre aufliegen.

Um das erfindungsgemäße Verfahren für die nötige Bestimmung der Entfernung zwischen den Mitten der drei Stützrohre, die nicht markiert sind, anzuwenden, wird zwischen zwei Stützrohren 1 und 2 mit Hilfe eines Wasserfahrzeugs 6 eine nicht-dehnbare Stahlkette 7 eingehakt, die sich nicht verheddern kann und an der zwei Bezugsmarken oder Bezugssignale 8 und 9 fest angebracht sind. Der Abstand, in dem diese Bezugsmarken voneinander angebracht sind, ist im voraus im Labor exakt gemessen worden.

Die beiden Bezugsmarken 8 und 9 haben eine solche Größe, daß sie, ebenso wie die Kettenglieder in Photogrammen, die aus einer Entfernung von 30-40 m gemacht werden, zuverlässig sichtbar sind. Die Stahlkette 7 ist so gestreckt, daß sie nie die Oberfläche des Meeres 4 berührt.

Das aus Stützrohren und Kette bestehende System wird dann mit zwei photographischen Meßkameras 10 und 11 photographiert, die miteinander synchronisiert und orientierbar an einem ca. 6 m langen Träger 12 aus hochfestem Metall angebracht sind.

Der Träger ragt freitragend aus den beiden Türen eines Hub-schraubers 13 und liegt dabei in einer Höhe von ca. 30 m.

Bei einer abgewandelten Ausführungsform ist der die beiden Meßkameras 10 und 11 an seinen Enden abstützende Träger 12 an einem Käfig 14 angebracht, der, wie Fig. 3 zeigt, in einer Höhe von ca. 30 m von einem großen Kran 15 hängend abgestützt ist.

Die paarweise erhaltenen Photographien werden in einen Stereoplotter eingegeben, der ein stereoskopisches, optisches Modell des photographierten Objekts erzeugt, wie in Fig. 4 gezeigt.

An diesem Modell werden an Positionen, die jeweils einem der acht herkömmlichen perimetrischen Orte photogrammetrischer Orientierung, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 und 23 entsprechen, unter Verwendung des beweglichen Pfeils des Stereoplotters Bestimmungen der Tiefe (Z-Achse) einer geeigneten Anzahl von Punkten  $16^I \dots 23^I$  gemacht. Diese Punkte liegen gleichmäßig zur Hälfte auf den Wellenkämmen (positives Maximum) und zur anderen Hälfte in den Tälern (negatives Maximum) der Wellen des Meeres 4. Der Durchschnittswert dieser Messungen ergibt das durchschnittliche Niveau der Wasseroberfläche und folglich die Durchschnittsebene, die horizontal sein muß.

Durch entsprechendes Drehen des optischen Modells in solcher Weise, daß das Niveau der acht Orte auf das festgelegte Durchschnittsniveau gebracht wird, wird das optische Modell richtig orientiert. Anhand des nunmehr ordnungsgemäß ausgerichteten optischen Modells kann wiederum unter Verwendung des beweglichen Pfeils des Stereoplotters im photographischen Maßstab die Länge des Kettenbogens exakt gemessen

werden, der zwischen den beiden gut sichtbaren Bezugsmarken oder Bezugssignalen 8 und 9 der Stahlkette 7 liegt.

Diese Messung erfolgt durch Summieren der Längen kleiner Bogenabschnitte, die beispielsweise einem (ebenfalls sichtbaren) Kettenglied der Stahlkette entsprechen.

Unter Bezugnahme auf das direkte Verhältnis des so bestimmten Wertes zu dem exakt im voraus gemessenen Wert des zwischen den Bezugsmarken 8 und 9 liegenden Kettenabschnitts wird der Umrechnungsfaktor erhalten, anhand dessen jeder beliebige tatsächliche Abstand durch eine entsprechende lineare Messung an dem Modell gewonnen werden kann.

### Erfindungsanspruch

1. Stereophotogrammetrisches Vermessungsverfahren für groß bemessene Objekte, die sich insbesondere auf dem Meer, aber auch an Land befinden, bei dem mit Hilfe eines Stereoplotters ein stereoskopisches, optisches Modell des Vermessungsobjektes anhand eines oder mehrerer Paare von Photographien des Vermessungsobjektes, die von zwei verschiedenen Aufnahmestellen gemacht wurden, hergestellt wird, gekennzeichnet dadurch, daß der Reihe nach folgende Schritte durchgeführt werden:
  - an dem Vermessungsobjekt wird eine nicht dehnbare Stahlkette (7), die sich nicht verheddern kann, und an der zwei Bezugsmarken oder Bezugssignale in einem bekannten, exakt im voraus gemessenen Abstand fest angebracht sind, die auf aus einer Entfernung von 30 - 40 m gemachten Photogrammen zuverlässig sichtbar sind, so eingehakt, daß sie ständig vollkommen sichtbar ist,
  - das Vermessungsobjekt wird aus einer Entfernung von ca. 30 m von zwei synchronisierten photographischen Meßkameras aufgenommen, die einen exakt bekannten Abstand von ca. 6 m voneinander haben,
  - anhand der entstehenden Photographien wird mit Hilfe eines Stereoplotters ein stereoskopisches, optisches Modell des Vermessungsobjektes angefertigt,
  - an dem stereoskopischen, optischen Modell werden acht Sätze von Punkten in angemessener Anzahl gemessen, die an den acht herkömmlichen perimetrischen Orten photo-

grammetrischer Orientierung gruppiert sind und gleichmäßig zur Hälfte auf dem Niveau der Kämme (positives Maximum) und zur anderen Hälfte in den Tälern (negatives Maximum) der Wellen des Wassers oder des Bodens liegen,

- diese Messungen werden statistisch weiterverarbeitet und das durchschnittliche Niveau der horizontalen Ebene bestimmt,
  - das stereoskopische, optische Modell wird durch entsprechende Drehung auf der durchschnittlichen horizontalen Ebene korrekt ausgerichtet,
  - an dem auf diese Weise orientierten optischen Modell wird im photographischen Maßstab die Länge des Kettenbogens bestimmt, der zwischen den beiden Bezugsmarken oder Bezugssignalen der Stahlkette liegt, indem die Summe der Längen kleiner Bogensegmente gebildet wird, die einem Kettenglied der Stahlkette entsprechen,
  - der Maßstab wird als das Verhältnis zwischen dem bestimmten Wert und dem exakt im voraus gemessenen Wert festgelegt,
  - und dieser Maßstab wird zum Umwandeln jeder linearen Messung an dem optischen Modell in die entsprechende Entfernung an dem tatsächlichen Vermessungsobjekt verwendet.
2. Vermessungsverfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die beiden synchronisierten photographischen Meßkameras mittels eines Trägers aus hochfestem Metall in einem exakt bekannten Abstand voneinander gehalten werden, an dessen Enden die Kameras orientierbar angebracht sind und den

man freitragend aus den beiden Türen eines auf etwa 30 m über dem Vermessungsobjekt aufgestiegenen Hubschrauber ragen läßt.

3. Vermessungsverfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die beiden synchronisierten photographischen Meßkameras mittels eines Trägers aus hochfestem Metall in exakt bekanntem Abstand voneinander gehalten werden, an dessen Enden die Kameras orientierbar angebracht sind und den man mit einem hohen Kran etwa 30 m über dem Vermessungsobjekt hält.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen



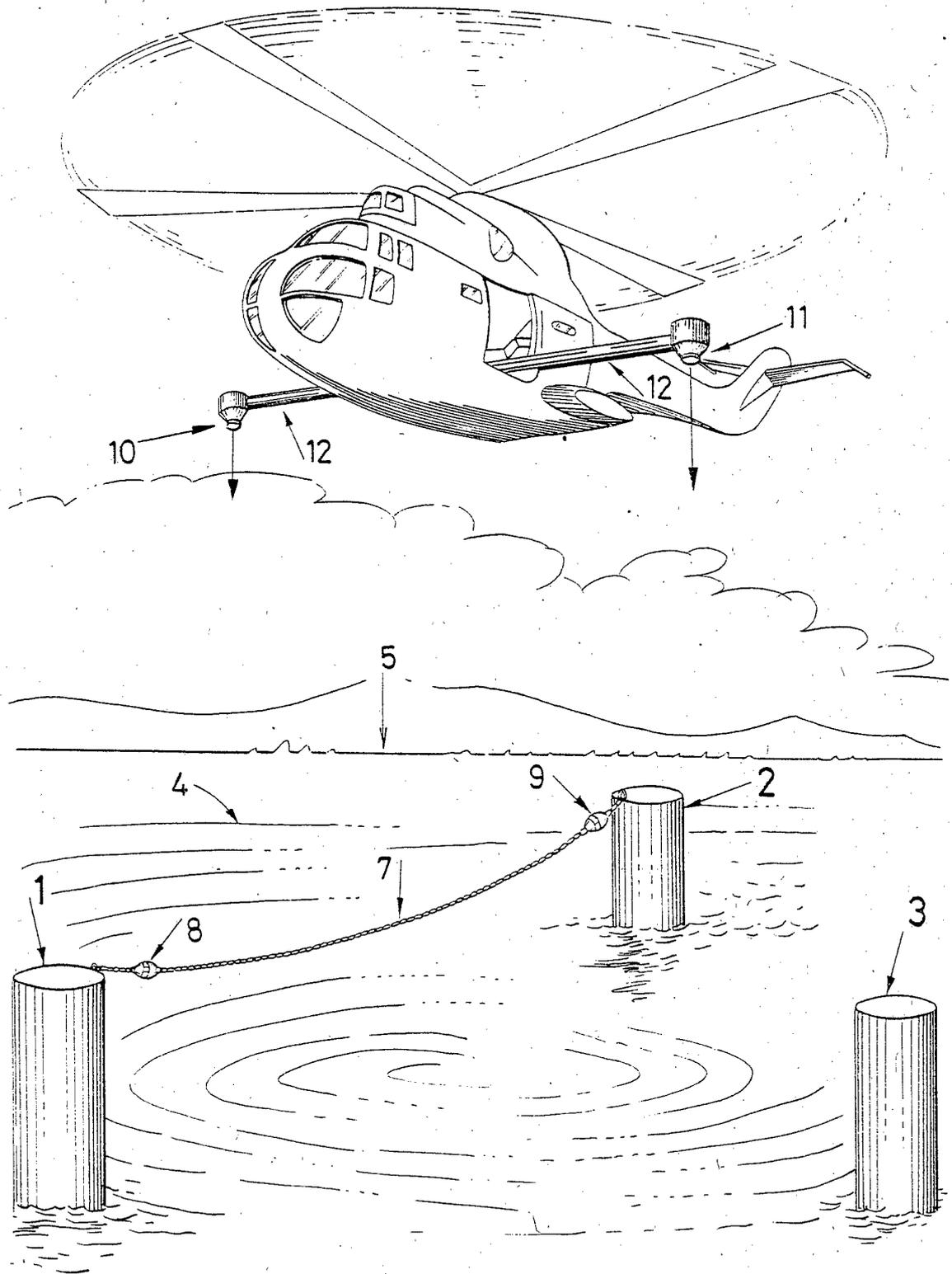


Fig. 2

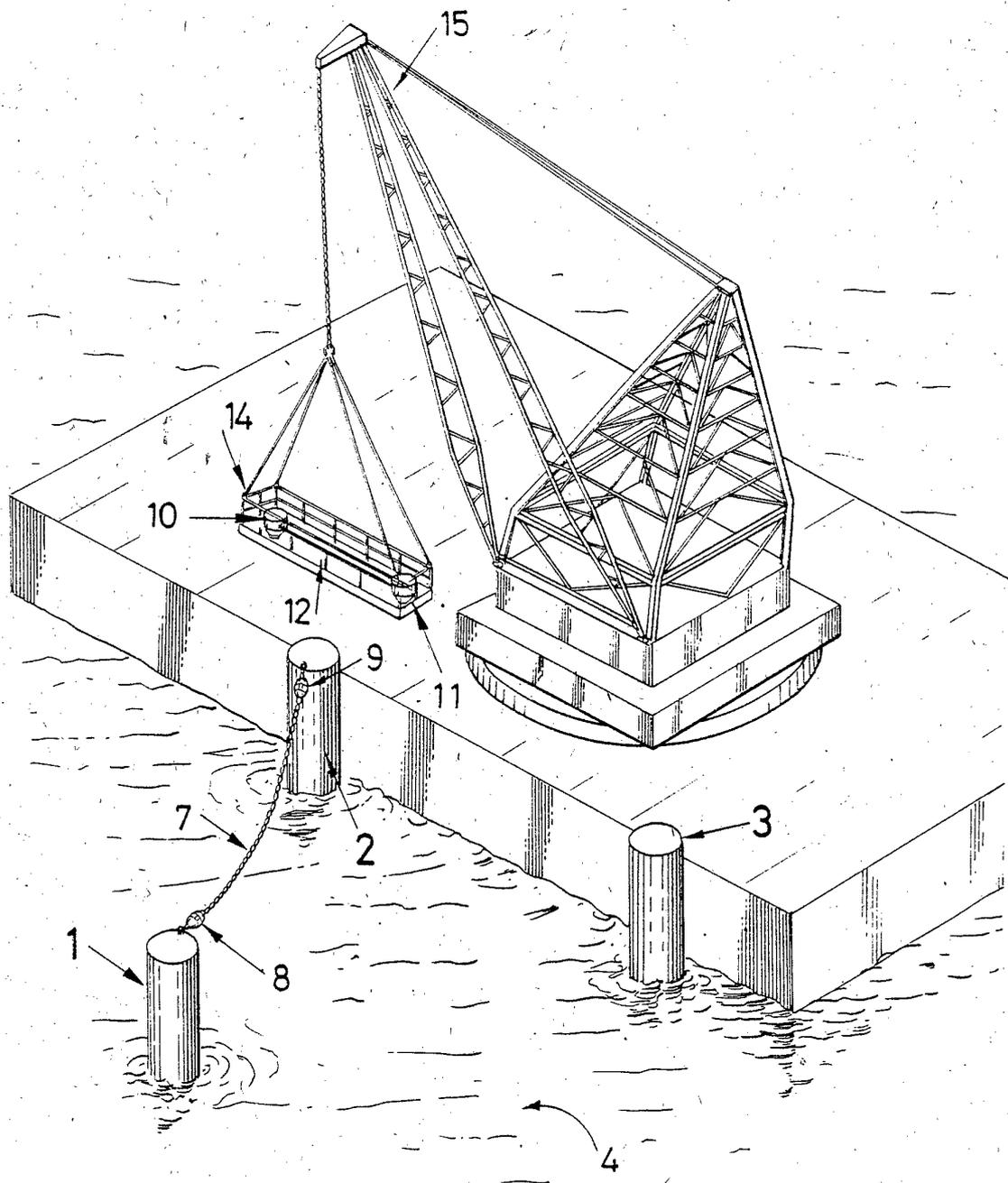


Fig. 3

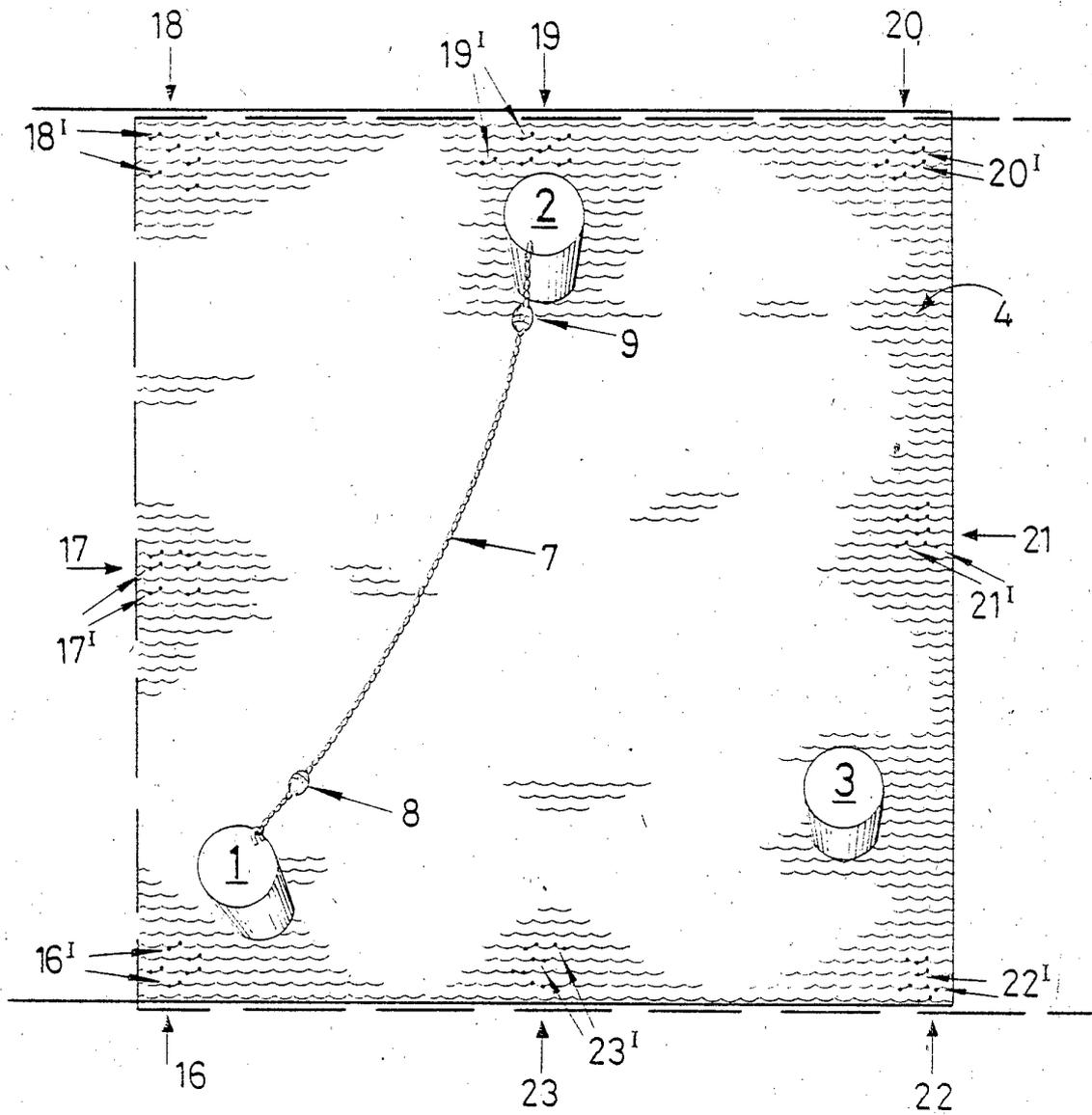


Fig. 4