

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

⑰ Anmeldenummer: **90101076.9**

⑤① Int. Cl.⁵: **F41G 5/20, F41G 5/26**

⑳ Anmeldetag: **19.01.90**

③① Priorität: **16.02.89 CH 541/89**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
22.08.90 Patentblatt 90/34

⑥④ Benannte Vertragsstaaten:
BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI NL SE

⑦① Anmelder: **CONTRAVES AG**
Schaffhauserstrasse 580
CH-8052 Zürich(CH)

⑦② Erfinder: **Wernli, Andreas, Dr.**
Hatzenbühlstrasse 52
CH-8309 Nürensdorf(CH)
 Erfinder: **Friedli, Andreas**
Oberhausen 751
CH-8460 Marthalen(CH)
 Erfinder: **Vepa, Narayana Murty, Dr.**
Bühlstrasse 6B
D-7762 Bodman(DE)
 Erfinder: **Badreddin, Essameddin, Dr.**
Rebbergstrasse 49
CH-8049 Zürich(CH)

⑤④ **Modulares, vernetztes Marine-Feuerleitsystem mit einer Vorrichtung zur Kompensation der Ausrichtfehler.**

⑤⑦ Das Marine-Feuerleitsystem enthält vorzugsweise mehrere Subsysteme mit je einem Zielerfassungsmodul (TMi) und mindestens einem Effektm modul (GMi). Die Subsysteme und/oder die Module sind untereinander umfassend vernetzt (DATEN-BUS) und enthalten Mittel zur Kompensation statischer, quasi-statischer und dynamischer Ausrichtfehler. Durch mindestens eine Rechneinheit (COMP) werden die durch die entsprechenden Sensoren ermittelten Daten ausgewertet und die Ausrichtfehler repräsentierenden Kompensationsparameter zwischen den einzelnen Subsystemen und/oder zwischen den Gerätemodulen (TMi, GMi) bestimmt. Die Verarbeitung dieser Bewegungsdaten erlaubt es, die dynamischen Lageänderungen zwischen den Subsystemen bzw. Geräten im Betrieb zu berücksichtigen. Vorzugsweise findet eine permanente Überwachung durch ein Sicherheits- bzw. Steuersystem statt, welche automatisch oder mittelbar zu einer optimierten Koppelung von Effektm modul (GMi) und Zielerfassungsmodulen (TMi) führt.

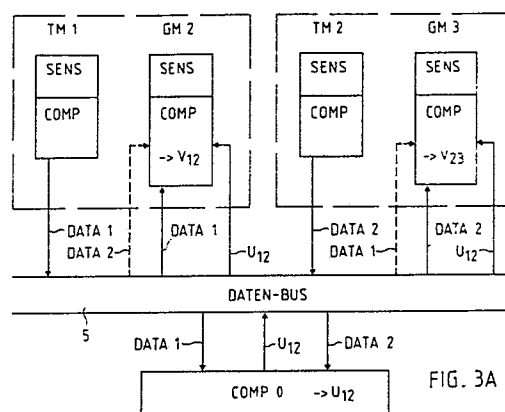


FIG. 3A

MODULARES, VERNETZTES MARINE-FEUERLEITSYSTEM MIT EINER VORRICHTUNG ZUR KOMPENSATION DER AUSRICHTFEHLER

Die Erfindung betrifft ein modulares, vernetztes Marine-FeuerleitSystem gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie ein Verfahren zur Kompensation von Ausrichtfehlern in einem solchen Marine-Feuerleitsystem gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 10.

Der Einsatz von Feuerleitsystemen auf modernen Kampfschiffen ist mit der Schwierigkeit verbunden, dass neben den durch den Schiffsbau bedingten Abweichungen und Gerätetoleranzen der Zielsuch- und -folgeeinheiten sowie der Effektoren während dem Einsatz Verwindungen und andere temporäre Verformungen durch die Bewegungen des Schiffes durch den Seegang, Stampfschläge und durch das Manövrieren verursacht werden. So tritt z.B. eine Längsbiegung in einer Vertikalebene und, falls das Schiff krängt oder die Wellen nicht rechtwinklig schneidet, auch eine horizontale Biegung des Schiffsrumpfs auf. Bei grösseren Seestärken von 8-9 können durch Stampfschläge auch plastische, also bleibende Verformungen auftreten. Solange es sich um kleine Kampfboote mit nur einem Geschütz und einem Radar handelt, sind diese Schiffsbewegungen nicht von grösser Bedeutung. Auf grösseren Schiffen, bei starkem Seegang oder schnellen Manövern können solche Bewegungen jedoch zu erheblichen Hüben führen, was die geometrische Ausrichtung zwischen den Effektoren und den Zielsuch- und -folgeeinheiten (den Sensoranlagen) stark beeinträchtigt und beim Richten der Effektoren aufgrund der von den Sensoren ermittelten Zieldaten Fehler ergibt. Dabei fallen diese Probleme um so mehr ins Gewicht, je grösser die Distanz zwischen Sensoren und Waffen ist.

Insbesondere bei grossen und modernen Kampfschiffen wird heute eine Mehrzahl von Effektoren (Werfern, Geschützen) eingesetzt, die durch ein oder mehrere Zielvermesssysteme gesteuert werden. Diese Anlagen sind über das ganze Schiff verteilt und weisen somit untereinander verhältnismässig grosse Abstände auf. Damit steigt das Bedürfnis nach genauer Ausrichtung und Kompensation von Ausrichtfehlern unter Bedingungen der beschriebenen Art; das kann auch dazu führen, dass entsprechende Vorkehrungen gar zur Notwendigkeit werden um, eine hinreichende Genauigkeit des Feuerleitsystemes zu erreichen.

Die nachfolgenden Ausführungen bezüglich der Aufgabenstellung sowie die Beschreibung der Erfindung werden weitgehend anhand von Beispielen mit Geschützen und Radarsystemen erläutert, haben aber gleichermaßen Gültigkeit für andere Effektoren und Zielvermesssysteme mit anderen Sensoren wie namentlich elektrooptische Zielfolgeeinheiten.

Normalerweise sind Effektoren und Zielsuch- und -folgeeinheiten in Subsysteme gegliedert, wobei beispielsweise pro Subsystem ein Radar und zwei durch diesen gesteuerte Geschütze vorhanden sind. Diese Subsysteme sind in relativ kleinen Distanzen zueinander und auf "Einheitsplattformen" angeordnet, so dass die Anordnung als quasistarr betrachtet werden kann. Im Gefecht, aber auch durch Revisionsarbeiten oder Materialdefekte, können bei einzelnen Geräte-Einheiten Ausfälle entstehen, welche die Einsatzbereitschaft des entsprechenden Subsystems herabsetzen oder es ganz ausfallen lassen. An sich wäre es dann wünschenswert, Module verschiedener Subsysteme zu koppeln und die theoretische passive Redundanz des Gesamtsystems zu nutzen. Hier zeigt sich, dass Anforderungen an die Fehlerkompensation zu stellen sind, welche herkömmliche Systeme nicht mehr erfüllen können.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Anstrengungen unternommen, um den vielfältigen Problemen bei Marine-Feuerleitsystemen wenigstens teilweise beizukommen. Aus der DE-Offenlegungsschrift Nr. 3150895 ist ein Kampfschiff bekannt, bei welchem mittels elektronischer Steuergeräte, welche die Bettungsfehler der einzelnen Anlagen gespeichert haben, über die Steuersignale diese statischen Fehler auskorrigiert werden. Durch die Berücksichtigung der Ausricht- bzw. Bettungsfehler kann die Genauigkeit des Feuerleitsystems zwar verbessert werden, doch bleiben die durch die Schiffsbewegung während des Einsatzes verursachten dynamischen Fehler unberücksichtigt. Teilweise sind die Anlagen gemäss dieser Schrift zwar durch Leitungen miteinander verbunden, doch treten bei der Steuerung von Anlagen, welche nicht auf einer gemeinsamen Einheitsplattform angeordnet sind, durch dynamische Biegeeffekte grosse Abweichungen zwischen Radar und Geschützen auf, die nicht tolerierbar sind. Trotz der Verbindungsleitungen ist jedoch in keiner Weise ein Gesamtsystem mit Ausnutzung der passiven Redundanz verwirklicht.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung und ein Verfahren für ein modulares, vernetztes Marine-Feuerleitsystem zu schaffen, so dass sowohl statische und quasi-statische als auch dynamische Abweichungen zwischen Effektoren und Zielsuch- und -folgeeinheiten kompensiert werden, ferner eine hohe Genauigkeit und mittels einem effizienten Sicherheits- bzw. Steuersystem eine Optimierung der Einsatzbereitschaft des gesamten Feuerleitsystems und eine grosse Betriebssicherheit erzielt werden können. Damit wird es möglich, die Redundanz des Gesamtsystems in den Betriebsverlauf mit einzubeziehen.

Diese Aufgabe wird durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 bzw. 10 genannten Merkmale gelöst.

Das erfindungsgemässe Marine-Feuerleitsystem enthält vorzugsweise mehrere selbständige Subsysteme mit je einer Radareinheit und mindestens einer Geschützeinheit. Daneben ist es möglich, die einzelnen Gerätemodule derart miteinander zu vernetzen, dass mehrere Radarmodule und Geschützmodule je miteinander verbunden sind oder das ganze Feuerleitsystem eine einzige, komplex vernetzte Einheit bildet. Die Subsysteme sind derart miteinander vernetzt, dass beim Ausfall einer Radareinheit der Radar eines anderen Subsystemes dessen Funktion innert kürzester Zeit übernehmen kann, so dass dank der Nutzung der passiven Redundanz des Systems eine hohe Betriebssicherheit des Gesamtsystems gewährleistet ist. Durch diese Vernetzung und eine entsprechende Steuerung bei einem Geräteausfall kann die Einsatzbereitschaft des gesamten Feuerleitsystems optimiert werden.

Die innerhalb der Subsysteme zwischen den Radar- und Geschützeinheiten vorhandenen, konstruktionsbedingten Ausrichtfehler können als quasi-statisch betrachtet werden und werden bei der Geschützsteuerung berücksichtigt. Diese der Konstruktion inhärenten Abweichungen der Lage bzw. der Gerätegeometrie ändern sich nur langsam, d.h. in Zeiträumen von Wochen, so dass vorzugsweise ein in regelmässigen Abständen durchgeführtes Ausrichtverfahren zur Bestimmung der Abweichparameter verwendet wird. Sofern die Einheiten eines Subsystems in geringem Abstand voneinander auf dem Schiffsrumpf angeordnet sind, treten selbst bei hohem Seegang nur geringe Relativ-Bewegungen auf, so dass in den meisten Fällen bereits eine Kompensation der statischen Fehler zu einer angemessenen Genauigkeit führt. Die dynamischen Fehler können demnach innerhalb eines Subsystems vernachlässigt werden. Das gleiche gilt für sehr nahe beieinander liegende Geräteeinheiten verschiedener Subsysteme, was insbesondere bei einheitlicher Vernetzung des Feuerleitsystems von Bedeutung ist.

Das durch die Vernetzung der Subsysteme ermöglichte Zusammenwirken von Geschützeinheiten mit einem Radar, der einem anderen Subsystem angehört, bringt es jedoch im allgemeinen mit sich, dass grössere Distanzen zwischen den entsprechenden Einheiten liegen. Dadurch gewinnen die durch Schiffsbewegungen verursachten dynamischen Fehler grosse Bedeutung und erfordern eine Kompensation durch ein entsprechendes Ausrichtverfahren. Zu diesem Zweck wird vorzugsweise jedes Subsystem, gegebenenfalls jedes Gerätemodul mit einem Messmittel versehen, welches die schnellen Bewegungen dieses Subsystems bzw. des Gerätemoduls ermittelt. Die Verarbeitung dieser Bewegungsdaten erlaubt es, die dynamischen Lageänderungen zwischen den Subsystemen bzw. Geräten im Betrieb zu berücksichtigen. Die durch die statischen Abweichungen bedingten Fehler können aus den innerhalb der Subsysteme bekannten Abweichparametern sowie der ausgemessenen gegenseitigen Lage der Subsysteme bestimmt und zusammen mit den dynamischen Abweichwerten ebenfalls berücksichtigt werden.

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemässen Systems sowie des Verfahrens sind anhand folgender Figuren näher erläutert:

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein Beispiel eines modularen, vernetzten Feuerleitsystems mit drei Subsystemen.

Fig. 2A und 2B zeigen eine Gegenüberstellung der prinzipiellen Konzepte zur Erfassung der Ausrichtfehler innerhalb eines Feuerleitsystems.

Fig. 3A und 3B zeigen Ausführungsbeispiele für die Vernetzung der einzelnen Module und Subsysteme.

Fig. 4 zeigt eine Übersicht des erfindungsgemässen Verfahrens

Fig. 5A und 5B zeigen in schematischer Darstellung den Verfahrensablauf zur Korrektur von dynamischen Ausrichtfehlern.

1. Konzept eines komplex vernetzten Systems

Um auf einem Kampfschiff eine optimale Feuerbereitschaft und Treffgenauigkeit zu erhalten, strebt die vorliegende Erfindung eine Optimierung des Gesamtsystems an. Es werden nicht die einzelnen Gerätegruppen, d.h. bspw. ein Radar mit zwei Geschützen, losgelöst vom Gesamtsystem betrachtet sondern vielmehr als Teil von letzterem behandelt. Um ein entsprechendes Funktionsprinzip zu realisieren, wird das Feuerleitsystem in umfassender Weise vernetzt. Das Feuerleitsystem gemäss der Erfindung besteht vorzugsweise aus mehreren selbständigen Subsystemen mit je einer Radareinheit und einem oder mehreren Geschützen. Figur 1 zeigt ein Beispiel einer solchen Anordnung mit drei Subsystemen SS1 bis SS3 mit jeweils Modulen GMi und TMi. Selbständigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Gerätemodule innerhalb eines Subsystems SSi ohne zusätzliche Daten oder Steuerparameter anderer Subsysteme zusammenwirken und somit auch losgelöst vom Gesamtsystem eingesetzt werden können. Obwohl im folgenden die erfindungs-

gemässe Vorrichtung und das Verfahren im wesentlichen anhand eines Ausführungsbeispiels mit einzelnen Subsystemen beschrieben wird, so ist zu betonen, dass auch andere Vernetzungen der einzelnen Geräte-
module möglich oder für spezielle Anwendungen sogar vorzuziehen sind. Selbstverständlich ist das
erfindungsgemässe Verfahren nicht auf Geschütz- und Radarmodule beschränkt, sondern kann auch im
5 Zusammenhang mit anderen Effektoren und Zielerfassungsvorrichtungen, bspw. Lenk Waffen und optischen
Zielerfassungseinrichtungen, oder anderen Vorrichtungen verwendet werden.

Das Erfindungsziel liegt darin, ein Feuerleitsystem möglichst grosser Zuverlässigkeit und Genauigkeit
zu schaffen. Dazu sind gemäss dem erfinderischen Gedanken die einzelnen Module des Systems in
geeigneter Weise vernetzt, so dass eine passive (oder in Spezialfällen aktive) Redundanz des Systems
10 nicht nur erreicht, sondern auch genutzt wird. Gleichzeitig werden Mess- und Regelvorrichtungen vorgese-
hen, welche sowohl statische, quasi-statische als auch dynamische Fehler bei der Steuerung auskorrigieren
können, was - wie weiter unten ausgeführt wird - Voraussetzung für eine adäquate Systemgenauigkeit ist.
Um die Einsatzbereitschaft des Feuerleitsystems überwachen und optimieren bzw. die durch die Vernet-
zung realisierte Flexibilität des Systems ausnutzen zu können, wird ein Sicherheits-bzw. Steuersystem
15 vorgesehen. Dabei kann sowohl eine hinweisende Sicherheitstechnik als auch eine Selbstüberwachung des
Systems angewandt werden. Da das Sicherheitssystem mindestens eine zentrale Überwachungs- bzw.
Steuereinheit SCU (system-control-unit) aufweisen muss, werden vorzugsweise, zur Erhöhung der Sicher-
heit, mehrere unabhängige, prinzipverschiedene Schutzsysteme angewandt. Diese Überwachungseinheit
SCU ist über gemeinsame oder durch separate Datenleitungen (gestrichelte Linien in Figur 1) mit allen
20 Modulen verbunden und kontrolliert die Einsatzbereitschaft und das Zusammenwirken der einzelnen Module
T_{Mi} und G_{Mi}.

Sowohl die Zielerfassungsmodule T_{Mi} als auch die Effektormodule G_{Mi} sind vorzugsweise als leicht
auswechselbare Einheiten ausgeführt, was einen relativ leichten und exakten Einbau ermöglicht. Dieses
Konzept erlaubt auf einfachste Weise auch ein nachträgliches Umrüsten älterer Kampfschiffe verschiede-
25 ner Modelle. Über eine gemeinsame Datenleitung 5 sind die Radarmodule T_{Mi} jeweils mit den Subsystem-
internen Datenleitungen 6-8 der anderen Subsysteme S_{Si} verbunden.

Es ist speziell darauf hinzuweisen, dass die Begriffe "vernetzt" und "verbunden" im Rahmen der
Erfindung als funktionelle Begriffe zu verstehen sind. Es ist deshalb nicht notwendig bzw. es kann für
spezielle Ausführungsformen nützlich oder sogar erforderlich sein, dass die "Verbindungen" nicht physisch
30 mittels elektrischer Leitungen ausgeführt sind. Vielmehr kann die Vernetzung auch über Funk oder andere
Datenübermittlungssysteme gewährleistet werden. Dabei ist besonderes Gewicht auf eine funktionssichere
Übertragung zu legen. Verkabelte Systeme sind in dieser Hinsicht vorteilhaft. Durch eine redundante
Vernetzung wird die Betriebssicherheit zusätzlich gesteigert.

Die prinzipielle Vernetzung eines solchen Feuerleitsystems ist aus Figur 1 ersichtlich. Die Mess- und
35 Regeldaten, welche zur Berücksichtigung der Abweichung bezüglich gegenseitiger Ausrichtung benötigt
werden, sind über ein Datennetz 5-8 verfügbar. Das Sicherheitssystem SCU ist seinerseits über ein zweites
Datennetz 10 mit den einzelnen Modulen verbunden. Über dieses Datennetz 10 sind Daten über Feuerbe-
reitschaft, Störungen (bspw. Erschütterungen, Defekte, usw.), Genauigkeit der Module etc. verfügbar und
gleichzeitig dient es als Datennetz für die Steuerdaten der SCU. Selbstverständlich können die beiden
40 Datennetze 5-8, 10 auch als einheitliches Netz ausgeführt werden. Die der SCU zur Verfügung gestellten
Daten bieten die Entscheidungs- bzw. Berechnungsgrundlage für eine Optimierung der jeweils realisierten
Verbindungen der Module.

45 II. Vernetzung für die Kompensation der Ausrichtfehler

Zentral für die Erfindung ist die Kompensation eines möglichst grossen Teils der Ausrichtfehler der
Module. In Figur 2A und 2B sind schematisch zwei Methoden zur Berücksichtigung der Ausrichtfehler
innerhalb eines Feuerleitsystems dargestellt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ein System mit
50 N Subsystemen und M Effektormodulen (Geschütze, [GM]), wobei jedes Subsystem ein Zielerfassungs-
modul (Radar, [TM]) aufweist. Die Kompensationsparameter bzw. Korrekturvektoren zum Ausgleich der
Ausrichtfehler zwischen den Subsystemen sind mit $\vec{U}_{ij}$, diejenigen innerhalb eines Subsystems mit $\vec{V}_{ij}$
bezeichnet. Die Methode gemäss Figur 2A erfasst die Ausrichtfehler innerhalb eines Subsystems und
zwischen den einzelnen Subsystemen. Die Gesamtzahl der zu berücksichtigenden Korrekturvektoren $\vec{U}_{ij}$
55 und $\vec{V}_{ij}$ beträgt

$$Z_1 = M + N \cdot (N-1)/2.$$

Soll beispielsweise das Radarmodul T_{M1} die Steuerung des Geschützmoduls G_{M5} übernehmen, so ist der
Korrekturvektor gleich $\vec{U}_{13} + \vec{V}_{35}$. Die zweite Methode gemäss Figur 2B erfasst die Korrekturvektoren

zwischen sämtlichen Radarmodulen T_{Mi} und Geschützmodulen G_{Mi}. Die Gesamtzahl der Korrekturvektoren beträgt

$$Z_2 = M \cdot N.$$

Möglichkeiten zur entsprechenden Vernetzung der Module sind in den Figuren 3A und 3B dargestellt. Dabei ist ein gemeinsamer Datenbus 5 vorgesehen, der mit den einzelnen Modulen verbunden ist. Aus diesen Figuren ist ebenfalls der Datenfluss ersichtlich, wobei die gestrichelten Verbindungen den Datenfluss zeigen, wie er bei Störungen in einem Subsystem erfolgt. Bei beiden Ausführungsvarianten sind dezentrale Rechneinheiten COMP vorgesehen, welche der Auswertung der durch die Sensoren SENS gelieferten Daten dienen. In Figur 3A ist zudem eine zusätzliche Rechneinheit COMP 0 zur Bestimmung der Ausrichtfehler zwischen den einzelnen Subsystemen vorgesehen. Wie aus diesen Darstellungen ersichtlich ist, enthalten alle Module selbständige Rechneinheiten. Die Verteilung der Rechenlast auf die einzelnen Computer kann je nach Anwendung variieren. Vorzugsweise werden den Geschützmodulen nur Korrekturdaten geliefert, die durch die zugeordneten Rechneinheiten ausgewertet werden, d.h. die eigentlichen Kompensationsdaten für die Steuerung der Geschütze werden durch die Rechneinheiten der Geschütze bestimmt. Die beiden Methoden der Fehlerkorrektur unterscheiden sich hinsichtlich Redundanz, Zuverlässigkeit zwischen oder innerhalb der Subsysteme, Rechenaufwand und Belastung der einzelnen Rechneinheiten COMP und weiterer Faktoren, so dass je nach den gegebenen Anforderungen die eine oder andere Variante gewählt werden kann. Wie leicht ersichtlich ist, eignet sich das Prinzip gemäss Figur 3B insbesondere zur Erzielung einer aktiven Redundanz.

III. Arten und Berücksichtigung der Ausrichtfehler

Art und Weise der Vernetzung und Einrichtungen zur Fehlerkorrektur, bspw. notwendige Sensoren, stehen dabei in einem engen Zusammenhang. Ein modulares, vernetztes System kann nur sinnvoll eingesetzt werden, wenn bei der Verbindung beliebiger Module noch eine hinreichende Präzision gewährleistet ist, die wiederum von folgenden Störfaktoren abhängig ist:

	zeitlich örtlich	langsam (statisch + quasi- statisch)	schnell (dynamisch)
innerhalb eines Moduls	1 Toleranzen der Gerätegeometrie	2 Elastische Beanspruchungen und Erschütterungen der Effektoren oder Tracker	
innerhalb eines Subsystems	3 Bettungsfehler etc.	4 Elastische Bewegungen und Erschütterungen des Schiffskörpers zwischen den Bettungen	
zwischen Subsystemen	5 Bettungsfehler, Deformationen des Schiffskörpers etc.	6 Dynamische Bewegungen des Schiffes, Verwindungen, etc.	

Um eine exakte Steuerung bzw. Ausrichtung der einzelnen Effektoren zu erreichen, müssten grundsätzlich alle gegenseitigen Bewegungen der Zielachsen von Radar und Geschütz berücksichtigt werden, d.h.

Störfaktoren der Typen 2, 4, 6, sowie sämtliche statischen und quasi-statischen Störeffekte der Typen 1, 3, 5. Dadurch wären eine Vielzahl von Abweichungen zu berücksichtigen, wobei der Schaltungs-, Vernetzungs- und Rechenaufwand im Hinblick auf den praktischen Einsatz zu gewissen Einschränkungen führen muss. Aus diesem Grund werden bei dem erfindungsgemässen Verfahren vorzugsweise gewisse, für den

5 praktischen Einsatz nur unbedeutende Ausrichtfehler vernachlässigt und nicht kompensiert. Im wesentlichen kann zwischen zwei unterschiedlichen Ausrichtfehlern unterschieden werden. Gemäss vorstehender Übersicht treten einerseits konstruktionsbedingt zwischen den einzelnen Einheiten der Subsysteme sowie in der gegenseitigen Lage der Subsysteme statische bzw. quasi-statische Fehler auf, welche sich nur langsam, d.h. in Zeiträumen von Tagen und Wochen, verändern. Solche Veränderungen der Schiffs- bzw. Gerätegeometrie entstehen beispielsweise durch Be- und Entladen des Schiffes, durch Fremdeinwirkung wie Auflaufen, Anstossen, starke Erschütterungen und starken Seegang sowie Alterung des Materials etc. Ausserdem weisen alle mechanischen Teile, Geräteeinheiten, etc. Bettungs- und Fertigungstoleranzen auf. Andererseits werden durch Seegang und durch Schiffsmanöver dynamische Fehler verursacht, welche zu gegenseitigen

10 Bewegungen und kurzzeitigen elastischen Verformungen führen und normalerweise im Bereich von bis zu ca. 5 Hz liegen. Sowohl die statischen als auch die dynamischen Fehler treten innerhalb der einzelnen Module, innerhalb eines Subsystemes sowie zwischen den verschiedenen Subsystemen auf und überlagern sich gegenseitig. Durch entsprechende Sensoren und rechenmässiger Auswertung dieser Messresultate sowie bekannter Korrekturdaten, Gerätekorrekturwerte, Offsetwerte, etc., werden durch das erfindungsgemässe Verfahren Ausrichtfehler der Typen 1 und 3, 4, 5 und 6 berücksichtigt. Die dynamischen Fehler

15 innerhalb der einzelnen Module würden zusätzliche Sensoren und Auswerteinheiten erfordern, wobei die entsprechenden Korrekturen innerhalb der Module selbst vorgenommen würden.

A. Kompensation statischer und quasistatischer Ausrichtfehler

25 Im folgenden sollen Beispiele möglicher Sensoren und Auswertverfahren zur Bestimmung der Korrekturdaten beschrieben werden. Die Eigen-Parameter der Radar- und Geschützmodule bzw. die Messwerte der installierten Einheiten werden in üblicher Weise ausgemessen und gespeichert. Die durch Fertigungstoleranzen und durch die Montage bedingten Ausrichtfehler unterliegen nur geringen zeitlichen Schwankungen und können als quasi-statisch betrachtet werden. Die Möglichkeiten einer mechanischen Korrektur von Abweichungen der gegenseitigen Ausrichtung von verschiedenen Modulen, insbesondere solcher in verschiedenen Subsystemen, sind jedoch nur beschränkt und ein Auskorrigieren von Fertigungs- und Montagetoleranzen mittels lediglich mechanischen Massnahmen führt nur zu unbefriedigenden Resultaten. Dabei ist es insbesondere nicht möglich, bspw. ein Geschützmodul mechanisch gleichzeitig auf verschiedene

30 Radarmodule abzugleichen. Wenn ein Geschützmodul durch ein Radarmodul eines anderen Subsystems gesteuert werden soll, muss berücksichtigt werden, dass der Schiffsrumpf trotz seiner über längere Zeit quasi-statischen Geometrie einen regelmässigen gegenseitigen Abgleich der Module erfordert.

Für die Bestimmung der quasistatischen Ausrichtfehler wird vorzugsweise nach der Installation des Feuerleitsystemes ein regelmässig, einfach wiederholbarer Abgleich durchgeführt. Hierzu besitzen die

40 einzelnen Module je einen Zielerfassungssensor, welcher ein Messziel mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntel Winkelminuten erfassen kann. Durch das gleichzeitige Verfolgen eines Messzieles durch ein Geschützmodul und ein Radarmodul kann durch Vergleich der gemessenen Werte die Abweichung der durch den Radar ermittelten Steuerwerte zur korrekten Ausrichtung des Geschützmodules bestimmt und ebenfalls gespeichert werden. Vorzugsweise werden mehrere Messungen durchgeführt, wobei ein bewegliches Messziel, beispielsweise ein Helikopter mit einem Zielkörper, eingesetzt wird. Eine Überprüfung und erneutes Speichern dieser derart bestimmten Kompensationsparameter wird deshalb nur von Zeit zu Zeit, in Zeiträumen von Tagen oder Wochen, erforderlich. Ein solches Verfahren zur Bestimmung der Kompensationsparameter für die statische Fehlerkorrektur geht beispielsweise aus der CH-Patentanmeldung 01 881/87-7 hervor. Die gespeicherten Kompensationsparameter werden im Betrieb beim Ausrichten der

45 Geschützmodule elektronisch oder rechnerisch ausgewertet und die Steuerdaten für die Geschütze entsprechend korrigiert.

B. Kompensation dynamischer Ausrichtfehler

55 Für die Bestimmung der dynamischen, durch Schiffsbewegungen, Erschütterungen, etc. verursachten Ausrichtfehler wird ein Deformationsmesssystem [DMS] vorgesehen. Dazu ist vorzugsweise in jedem Gerätemodul GMi, TMi ein Sensor enthalten. Es ist günstig, die Geräteeinheiten innerhalb eines Subsys-

stems derart auf dem Schiff anzuordnen, dass ihre gegenseitige Lage durch Schiffsbewegungen praktisch nicht beeinflusst wird. Dies kann durch Versteifungen des Schiffsrumpfes bzw. einem einheitlichen "Fundament" in diesem Bereich und durch möglichst kleine Distanz zwischen den Geräteeinheiten erreicht werden. Unter Umständen kann durch diese Massnahme erreicht werden, dass die Subsysteme für sich
 5 bezüglich dynamischen Abweichungen als starr bzw. die Bewegungen der einzelnen Module als identisch betrachtet werden können und nicht jedes Modul mit einem Sensor ausgerüstet werden muss, sondern jedes Subsystem nur einen gemeinsamen Sensor enthält. Meistens wird die Kostenbetrachtung darüber entscheiden, welchen Vorkehrungen, Versteifung oder zusätzliche Sensoren, der Vorzug gegeben wird. Keinesfalls soll jedoch das Problem der komplexen Vernetzbarkeit das Vorgehen limitieren, da es ja gerade
 10 im Gedanken der Erfindung liegt, komplexe Vernetzungen operabel zu machen.

Die Sensoren dieses DMS messen die Drehgeschwindigkeiten und die linearen Beschleunigungen. Die Resultate der Messungen werden vom zugehörigen Rechner vorzugsweise in einem (nordorientierten) Horizontsystem Σ_H aufbereitet und dargestellt. Die Sensoren liefern also kontinuierlich die für die Bestimmung der Lage notwendigen Parameter. Dabei werden in bekannter Weise Strapdown-Sensorblöcke mit
 15 entsprechenden Messeinrichtungen verwendet. Zu diesem Zweck enthalten diese Sensorblöcke vorzugsweise drei Beschleunigungsmesser und mindestens zwei (gefesselte) Kreisel. Die Beschleunigungsmesser liefern dabei die Information über die linearen Verschiebungen der jeweiligen Einheiten und die Kreisel die entsprechende Information über rotatorische Bewegungen. Es ist offensichtlich, dass zur Bestimmung der Kompensationsparameter beliebige, auf Beschleunigung oder Winkelgeschwindigkeit der auszuwertenden
 20 Einheiten bezogene, kinematischen Daten verwendet werden können. Diese mittels Sensoren gemessenen Daten werden durch einen geeigneten Algorithmus ausgewertet und vorzugsweise als Kompensations-Matrix A_{ij} erfasst, welche die relative Verdrehung zweier Geräteeinheiten zueinander in Form kleiner Kardanwinkel angibt.

Die Kompensations-Matrix A_{ij} enthält die Information über den Ausrichtfehler zwischen den Einheiten i und j und ermöglicht die Kompensation dieses Fehlers, indem der jeweilige Steuervektor zur Steuerung
 25 eines Geschützmoduls j durch ein Radarmodul i , welcher die Daten für die Ausrichtung des Geschützes auf das Ziel enthält, unter Berücksichtigung dieser Kompensations-Matrix A_{ij} bestimmt wird. Bei der Steuerung eines Geschützmoduls durch das entsprechende Radarmodul können mittels dieser Kompensations-Matrix A_{ij} die dynamischen Ausrichtfehler auskorrigiert werden. Da allerdings die durch die Beschleunigungsmesser bzw. Kreisel gemessenen Werte jeweils sowohl durch die rotatorischen als auch die translatorischen
 30 Bewegungen beeinflusst werden und demnach eine gegenseitige Abhängigkeit besteht, erfordert die Berechnung der Kompensations-Matrix A_{ij} einen nicht unerheblichen Rechenaufwand.

Ein Algorithmus zur Bestimmung der Kompensationsparameter kann beispielsweise unter Verwendung eines Kalman-Filters durchgeführt werden, indem als Eingangsgrößen die Winkelinkremente der entsprechenden Einheiten sowie deren Geschwindigkeitsinkremente verwendet werden. Die prinzipielle Funktionsweise eines solchen Algorithmus ist beispielsweise in der Schrift "Kalman Filter Formulations for Transfer Alignment of Strapdown Inertial Units" [Schneider, Alan M. in: Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 30, No. 1, Spring 1983] aufgezeigt. Die einzelnen Messperioden zur Bestimmung der Winkel- und Geschwindigkeitsinkremente betragen bspw. 20 msec. Der mit einem Algorithmus unter
 40 Verwendung eines Kalman-Filters verbundene Rechenaufwand kann wesentlich vermindert werden, indem der Algorithmus ein Filterverfahren verwendet, bei welchem mittels der Messdaten der Beschleunigungsmesser die Messwerte der Kreisel gefiltert werden (vgl. Kapitel IV.A.). Ein solcher Algorithmus erlaubt beispielsweise bei einer Übernahme der Steuerung eines Geschützes durch ein anderes Radarmodul äusserst kurze Einschwingzeiten von ca. 3 Minuten.

45 Vorzugsweise werden im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens für das DMS folgende Daten bestimmt:

- a) stationäre bzw. quasi-stationäre Eingangswerte
 - Azimut-Ausrichtabweichung zwischen den Sensorblöcken
 - Parallaxe zwischen den Sensorblöcken
- 50 b) dynamische Messwerte
 - die lineare Beschleunigung $\vec{a}$ von Σ_D bezüglich Σ_I jedes Sensorblocks
 - die Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$ von Σ_D bezüglich Σ_I jedes Sensorblocks
- c) Ausgangswerte (dynamisch, bandbegrenzt)
 - relative Verdrehung zwischen den Sensorblöcken (kleine Kardanwinkel)
- 55 Wird ausserdem die Lage von Σ_D in Σ_H angegeben, werden zusätzlich die Navigationsparameter benötigt für die Beziehung zwischen Σ_D und Σ_H .

Dabei bezeichnet Σ_D ein schiffsbezogenes und Σ_H ein erdoberflächenbezogenes kartesisches Koordinatensystem (mit Zentrum im Schiffs deck und einer gegen die Erdmitte gerichteten Achse). Σ_I ist ein

inertielles Koordinatensystem (mit Zentrum in der Erdmitte).

Die Werte der Kompensationsmatrix A_{ij} werden in Analogie zur Berechnung statischer Korrekturmatrizen bestimmt. Der Auswertungsalgorithmus zur Bestimmung der Kompensationsmatrix A_{ij} zwischen zwei Sensoren i und j erfordert vorzugsweise als Eingangsgrößen die Winkelinkremente, d.h. die Integrale der Winkelgeschwindigkeit über eine bestimmte Messperiode (bspw. 20 msec), die Geschwindigkeitsinkremente, d.h. die Integrale der translatorischen Geschwindigkeiten in einer entsprechenden Messperiode, und die (stationären) Azimut-Ausrichtabweichungen sowie die Parallaxen-Vektoren zwischen den Sensoren. Diese Eingangsgrößen werden mittels eines Computers oder dezentraler Recheneinheiten in Echtzeit ausgewertet, so dass pro Messperiode die Ausrichtfehler-Winkel um die Achsen des Bezugssystems als Korrekturdaten vorliegen. Die Auswertung erfolgt bspw. mit einer Taktfrequenz von 50 Hz.

IV. Verfahren zur Optimierung der Einsatzbereitschaft und Genauigkeit des Feuerleitsystems

Figur 4 zeigt eine schematische Übersicht über das erfindungsgemässe Verfahren im Zusammenhang mit dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel mit selbständigen Subsystemen, deren Radarmodule die Steuerung von Geschützmodulen anderer Subsysteme übernehmen können oder diesen die Daten zur Verfügung stellen, die für die Ausrichtfehler-Korrektur notwendig sind. Die Blöcke A bis C beziehen sich auf die Erfassung der notwendigen Korrekturdaten. Erfasst werden die statischen (A) quasistatischen (B) und dynamischen (C) Abweichungen. Diese Daten werden zentral oder dezentral durch Recheneinheiten ausgewertet (D). Dies erfolgt durch Bestimmung der Kompensationsparameter, unter anderem der Korrekturmatrizen A_{ij} , wobei letztere grundsätzlich nur für die jeweils gekoppelten Gerätemodule bestimmt werden müssen. Durch eine permanente Überwachung des Systemzustandes wird durch Steuerung der Vernetzung der einzelnen Module bzw. Subsysteme (E, F) eine optimale Einsatzbereitschaft erreicht. Die berechneten Werte werden als Ausrichtdaten während des Einsatzes berücksichtigt (G).

Da bereits kleine Abweichungen der Sensoren Einfluss auf die Kompensationsparameter nehmen, muss der Zeitstabilität dieser Sensoren Beachtung geschenkt werden. Die Beschleunigungsmesser stützen die Kreismessung bezüglich Drift in zwei Achsen. Da die Lotachse aus physikalischen Gründen nicht gestützt werden kann, muss von Zeit zu Zeit die Winkelverdrehung um diese Achse exakt gemessen werden.

A. Bestimmung der Kompensationsparameter mittels einem Algorithmus

Zur Erfassung der Eingangsgrößen für den Algorithmus können herkömmliche Sensoren, vorzugsweise Strapdown-Sensoren, eingesetzt werden.

Die Figur 5A zeigt schematisch die Bestimmung der Ausrichtdaten zwischen zwei Subsystemen durch das Deformations-Messsystem [DMS]. SENS1 ist ein erster Sensor, angebracht an einer Geräteeinheit eines ersten Subsystems (nicht gezeichnet), SENS2 ist ein zweiter Sensor, angebracht an einer Geräteeinheit eines zweiten Subsystems (nicht gezeichnet). Diese Sensoren, bestückt mit Beschleunigungsmessern und gefesselten Kreisel, können z.B. für die Navigation eingesetzt sein, wobei sie laufend Lagekoordinaten und Drehgeschwindigkeiten in einem raumfesten Koordinatensystem angeben, und/oder für das Ermitteln der Stabilisierdaten für die zugehörige Geräteeinheit. Ihre internen Signale lassen sich aber auch dahingehend aufbereiten, dass sie die Winkelgeschwindigkeit w_1 , w_2 der Verdrehungen um die eigenen Achsen und die Beschleunigungen a_1 , a_2 in Richtung derselben angeben. Diese Ausgänge der Sensoren sind Eingangsgrößen des Berechnungsteils COMP des DMS. Weitere Eingangsgrößen sind die Parallaxe D zwischen den Sensoren und die quasistatische Abweichung h_z der Ausrichtung der Sensoren um die Lotachse. Letztere ist nötig, weil die Sensoren selber keine Stützung der Daten über die Drehung um diese Achse liefern können. Der Berechnungsteil COMP liefert am Ausgang die kleinen Kardanwinkel k , welche die relative Verdrehung zweier Sensorblöcke zueinander angeben.

Eine mögliche Arbeitsweise des Berechnungsteils COMP, um aus den erwähnten Eingangssignalen die Kardanwinkel k zu ermitteln, ist in Fig. 5B beispielsweise detaillierter dargestellt. Die Messung der Winkelgeschwindigkeiten w_1 , w_2 ist kurzfristig sehr genau und deren Differenzen ergeben über die Zeit integriert im Prinzip die gesuchten relativen Verkantungswinkel k . Höherfrequente Signalanteile in der Winkelgeschwindigkeit, z.B. herrührend von Erschütterungen, interessieren dabei nicht, da sie ohnehin beim Nachsteuern der Zielachsen der Geräte der Feuerleitanlage zur Erfüllung der Feuerleitaufgabe nicht berücksichtigt werden können. Die Kardanwinkel k werden daher in einem Filter 51 mit einer anwendungsspezifisch festlegbaren Bandbreite, z.B. von 5 Hz, durch eine Integration erhalten, z.B. in der Art $dk/dt = A(w_1)k + w_1 - w_2 - d$.

Die Korrektur d 55 dient der Aufhebung der bei der Winkelgeschwindigkeitsmessung mit Kreiselin
inhärent vorhandenen Drift.

Mit Hilfe der Beschleunigungsmessungen lassen sich die relativen Verkantungswinkel ebenfalls bestim-
men, wobei die schnelleren Vorgänge allerdings nur mit ungenügender Genauigkeit wiedergegeben werden
5 können, längerfristig gesehen hingegen die Bestimmung sehr genau ist. Im Berechnungsteil 53 werden
daher mit Vorteil die Beschleunigungsmesswerte a_1 , a_2 zunächst tiefpassartig gefiltert und anschliessend
zur Bestimmung der Verkantungswinkel h 56 benützt, z.B. nach der Formel
$$B(a_2)h = a_2 - a_1 - F(dw_1/dt, w_1)D.$$

Ohne die Korrektur d 55 würde k den interessierenden, dynamischen Anteil und die demgegenüber
10 langsam veränderliche Drift enthalten, h enthält nur einen Teil der interessierenden Frequenzanteile, ist
jedoch im Mittel genau und längerfristig stabil. Die Subtraktion k - h enthält also einen Teil der
interessierenden Frequenzen und die Drift. Durch den Regler 52, z.B. in der Art eines PIT2-Reglers mit
einer Zeitkonstanten von ca. 10 sec, der das Korrektursignal d 55 liefert, werden die interessierenden
Frequenzanteile unterdrückt und die Drift abgeglichen.

15

B. Überwachung und Steuerung der Einsatzbereitschaft durch eine System-Control-Unit [SCU]

Während des Betriebes des Feuerleitsystems findet eine permanente Überwachung der Gerätemodule
20 durch ein mittelbares oder hinweisendes Sicherheitssystem [SCU] statt. Ausfälle eines oder mehrerer
Gerätemodule können so jederzeit festgestellt werden. Durch Revisionsarbeiten, Gerätedefekte oder Be-
schädigungen der Geräte im Einsatz kann die Einsatzbereitschaft einzelner Subsysteme und damit des
gesamten Feuerleitsystems empfindlich reduziert sein. In einfachster Weise könnte dieses Sicherheitssy-
stem durch eine Überwachungsper son gewährleistet sein, welche die notwendigen Koppelungen der
25 Module vornimmt, wobei eine grosse Reaktionszeit auf Systemveränderung in Kauf genommen werden
müsste. Dank der Vernetzung der Subsysteme bzw. der Module des erfindungsgemässen Feuerleitsystems
besteht die Möglichkeit, dass Geräteeinheiten verschiedener Subsysteme zusammenwirken und damit der
Ausfall einzelner Gerätemodule kompensiert werden kann. Gemäss der Erfindungsaufgabe soll das Sicher-
heitssystem in effizienter Weise wirken, d.h. sich sowohl bezüglich möglichst kurzer Ausfallzeiten als auch
30 durch geringen zusätzlichen Aufwand an Material und Kosten auszeichnen. Durch eine geeignete automati-
sierte Steuerung kann die Einsatzbereitschaft des gesamten Feuerleitsystems optimiert werden. Das
Gesamtsystem besitzt derart eine Selbstorganisation, so dass die jeweils realisierten Verbindungen zw-
ischen den einzelnen Modulen innerhalb kürzester Zeit neuen Situationen angepasst werden. Vorzugsweise
besitzen alle mit einem Sensor versehenen Module eine Selbsttesteinrichtung. Treten Störungen bzw. ein
35 Ausfall auf, so wird durch eine zentrale Überwachungsvorrichtung, vorzugsweise eine zentrale Computerein-
heit, eine "Neuorganisation" des Feuerleitsystems vorgesehen, d.h. dessen Einsatzbereitschaft durch
geeignetes Vernetzen der einzelnen Module optimiert. Ein Umschalten zwischen verschiedenen Gerätemo-
dulen kann auch notwendig werden bzw. wünschenswert sein, um eine Steigerung der Visibilität, d.h. eine
optimale Zielerfassungsmöglichkeit zu erreichen. Eine automatisierte SCU ergänzt damit die redundante
40 Vernetzung des Systems und erlaubt Neustrukturierungen bzw. neue Vernetzungen des Systems innerhalb
kürzester Zeit. Selbstverständlich können auch mehrere Sicherheitssysteme gleichzeitig eingesetzt werden.

Beim Umschalten von einem defekten auf ein intaktes Gerätemodul soll möglichst wenig Zeit verstre-
ichen, damit die Geräteausfallzeit möglichst gering ist. Da während des normalen Betriebes der zur
Kompensation der dynamischen Ausrichtfehler verwendete Algorithmus nicht oder nur innerhalb der
45 Subsysteme eingesetzt ist, muss dieser so ausgelegt sein, dass die Einschwingzeit beim Umschalten
zwischen zwei Gerätemodulen verschiedener Subsysteme entsprechend dieser Anforderung gering ist.

Das erfindungsgemässe Feuerleitsystem ermöglicht die Realisierung einer aktiven Redundanz, indem
beispielsweise einzelne, speziell vorgesehene Gerätemodule jederzeit für den Betrieb im Zusammenhang
mit zwei oder mehreren anderen Modulen ohne Einschwingzeit bereit sind.

50 Jedes Modul (oder Subsystem) enthält entsprechende Rechneinheiten zur Steuerung und Auswertung
der Kompensationsparameter. Die Ermittlung der Ausrichtfehler zwischen zwei Subsystemen erfolgt vor-
zugsweise über eine zentrale Rechneinheit, unter anderm unter Verwendung des Algorithmus zur
Bestimmung der Kompensations-Matrix A_{ij} . Da der Algorithmus jeweils zur Bestimmung der gegenseitigen
Lage zwischen Gerätemodulen verschiedener Subsysteme eingesetzt wird, wird nach einem Umschalten
55 zwischen zwei Radarmodulen eine gewisse Einschwingzeit des Algorithmus verursacht. Daher kann es,
sofern mit häufigen Ausfällen von Geräteeinheiten zu rechnen ist, vorteilhaft sein, alle Radarmodule mit
allen Geschützmodulen zu vernetzen, so dass mittels des Algorithmus deren gegenseitige Lage jederzeit
bekannt ist und die Einschwingzeiten vermieden werden können. Von eigentlichen Subsystemen kann in

diesem Fall nicht mehr gesprochen werden, sondern das Feuerleitsystem bildet ein einheitliches, vernetztes System. Dieses Konzept erfordert jedoch eine wesentlich aufwendigere Verkabelung sowie einen erheblich grösseren Rechenaufwand der Rechnersysteme. Es ist daher von Fall zu Fall, unter Berücksichtigung der verwendeten Geräteeinheiten, der Einsatzart und des Einsatzortes etc., zu entscheiden, wie die einzelnen
 5 Module verbunden sein sollen. Denkbar sind auch andere Vernetzungskonzepte, beispielsweise eine Kombination der beiden beschriebenen Vernetzungsarten.

Ansprüche

10

1. Modulares, vernetztes Marine-Feuerleitsystem mit einer Mehrzahl von in Subsystemen organisierten Zielerfassungsmodulen und Effektormodulen, die gegenseitig ausgerichtet sind und bei welchen Mittel zur Kompensation der statischen und quasi-statischen Fehler vorhanden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Zielerfassungsmodul (TMi) oder Subsystem (SSi) mindestens einen Sensor (SENS) zur Bestimmung
 15 der relativen, dynamischen Bewegung oder Lage der Module bzw. der Subsysteme enthält und mindestens eine Rechneinheit (COMP, COMPO) vorhanden ist, welche der Auswertung der durch die Sensoren (SENS) ermittelten Daten dient, dass diese Rechneinheit oder Rechneinheiten (COMP, COMPO) mit den Steuerelementen oder Rechneinheiten der Effektormodule, zur Übertragung der Kompensationsparameter bezüglich der dynamischen Fehler, verbunden sind oder dass die Steuerelemente und Rechnein-
 20 heiten eine Einheit bilden.

2. Modulares Feuerleitsystem gemäss Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein hinweisendes oder mittelbares Sicherheitssystem (SCU) enthalten und mit den Modulen (TMi, GMi) oder Subsystemen (SSi) verbunden ist, welches der Überwachung und Steuerung der Einsatzbereitschaft bzw. Vernetzung der Gerätemodule oder der Subsysteme dient.

3. Modulares Feuerleitsystem gemäss Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sicherheitssystem (SCU) durch eine zentrale Computereinheit gebildet ist, welche über Datenleitungen je mit Selbstste-
 25 steinheiten der Gerätemodule (TMi, GMi) verbunden ist.

4. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoren (SENS) je mindestens 3 Beschleunigungsmesser und mindestens 2 Kreisel zur Messung der
 30 translatorischen und rotatorischen Bewegungen und zur Bestimmung der Winkelinkremente und Translationsgeschwindigkeitsinkremente enthalten.

5. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Effektormodule (GMi) und das Zielerfassungsmodul (TMi) innerhalb eines Subsystems (SSi) und die Subsysteme (SSi) untereinander zur gegenseitigen Übertragung von Daten bezüglich Lage und Bewegung
 35 verbunden sind.

6. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche Effektormodule (GMi) mit allen Zielerfassungsmodulen (TMi) eine Verbindung zur gegenseitigen Datenübertragung aufweisen.

7. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 40 dass sowohl die Zielerfassungsmodule (TMi) als auch die Effektormodule (GMi) Sensoren (SENS) zur Bestimmung der relativen, dynamischen Bewegung bzw. Lage enthalten.

8. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Datenübertragung ein gemeinsamer Datenbus (5) vorgesehen ist, der mit den einzelnen Modulen bzw. Subsystemen verbunden ist.

9. Modulares Feuerleitsystem gemäss einem der vorstehenden 10 Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 45 **net**, dass sowohl die Effektor- (GMi) als auch die Zielerfassungsmodule (TMi) Zielerfassungssensoren enthalten, welche bezüglich einem Messziel je eine Zielmess-Visierlinie definieren, und dass Mittel zum Erfassen und Speichern der Visierlinien-Abweichung zur Bestimmung der quasistatischen Fehler vorhanden sind.

10. Verfahren zur Kompensation von Ausrichtfehlern in einem 20 modularen, vernetzten Marine-
 50 Feuerleitsystem unter Verwendung von Gerätekorrekturwerten ab Werk und Messwerten der im Dock ausgemessenen Groblage der installierten Gerätemodule, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl statische, quasi-statische als auch dynamische Ausrichtfehler kompensiert werden, wobei folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

55 a) Bestimmung des Kompensationsparameter der statischen und quasi-statischen Fehler, der Parallaxdistanzen zwischen den einzelnen Modulen eines Subsystemes sowie der Ausrichtfehler und Parallaxdistanzen zwischen den verschiedenen Subsystemen in regelmässigen Abständen;

b) Kontinuierliche Bestimmung der dynamischen Winkelinkremente und axialen Geschwindigkeitsin-

kremente bzw. der entsprechenden Winkeländerungen und Relativgeschwindigkeiten der Subsysteme und/oder deren Zielerfassungs- und Effektmodule;

c) Echtzeit-Verarbeitung der gemäss Verfahrensschritt b) bestimmten Daten durch einen System-Algorithmus und Bestimmung von die statischen, quasistatischen und dynamischen Ausrichtfehler repräsentierenden Kompensationsparametern bzw. den Korrekturmatrizen (A_{ij}) zwischen den einzelnen Subsystemen und/oder zwischen den Gerätemodulen unter Bezug der gemäss Verfahrensschritt a) bestimmten Daten;

d) Verwendung dieser Kompensationsparameter für die Steuerung der Effektmodule, wobei mindestens die Kompensationsparameter gemäss Verfahrensschritt a bei der Steuerung berücksichtigt werden;

11. Verfahren gemäss Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine permanente Überwachung der Einsatzbereitschaft und/oder Genauigkeit der Gerätemodule durch mindestens ein Sicherheits- bzw. Steuersystem (SCU) stattfindet und eine automatische oder manuelle Umschaltung zwischen verschiedenen Zielerfassungsmodulen (T_{Mi}) durch dieses Sicherheitssystem mittels Schaltern oder durch Änderung des Datenflusses beim Ausfall oder Stilllegung einer Zielerfassungseinheit oder zur Optimierung der Zielerfassung und nachfolgender optimierter Koppelung von Effektmusername und Zielerfassungsmodulen erfolgt.

12. Verfahren gemäss Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kompensationsparameter der statischen und quasi-statischen Fehler durch Vergleich der Visierlinien-Abweichung zwischen zwei auf ein gemeinsames, bewegliches Messziel ausgerichteter Gerätemodule bestimmt und gespeichert werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die für die Bestimmung der Korrekturmatrizen (A_{ij}) notwendigen Messdaten in Zeitperioden von höchstens 20 msec anfallen und die Korrekturmatrizen jeweils mit einer Taktfrequenz von mindestens 50 Hz berechnet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch die Sensoren (SENS) gemessenen Werte zur Bestimmung der Korrekturmatrix A_{ij} in einem Filterverfahren ausgewertet werden, bei welchem mittels der Messdaten der Beschleunigungsmesser die Messwerte der Kreisel gefiltert werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei redundante Korrekturmatrizen (A_{ij}) parallel zueinander ermittelt werden.

30

35

40

45

50

55

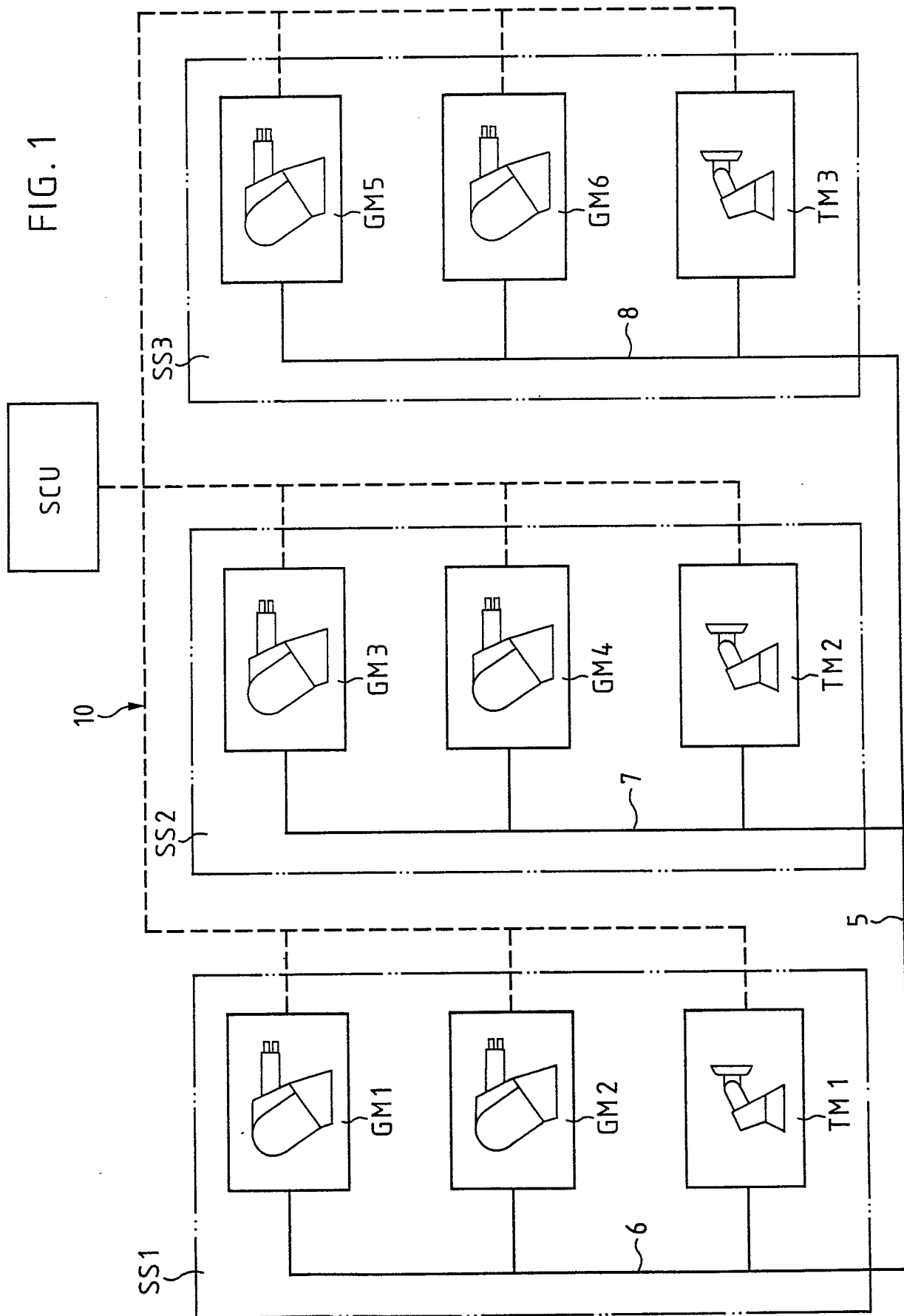
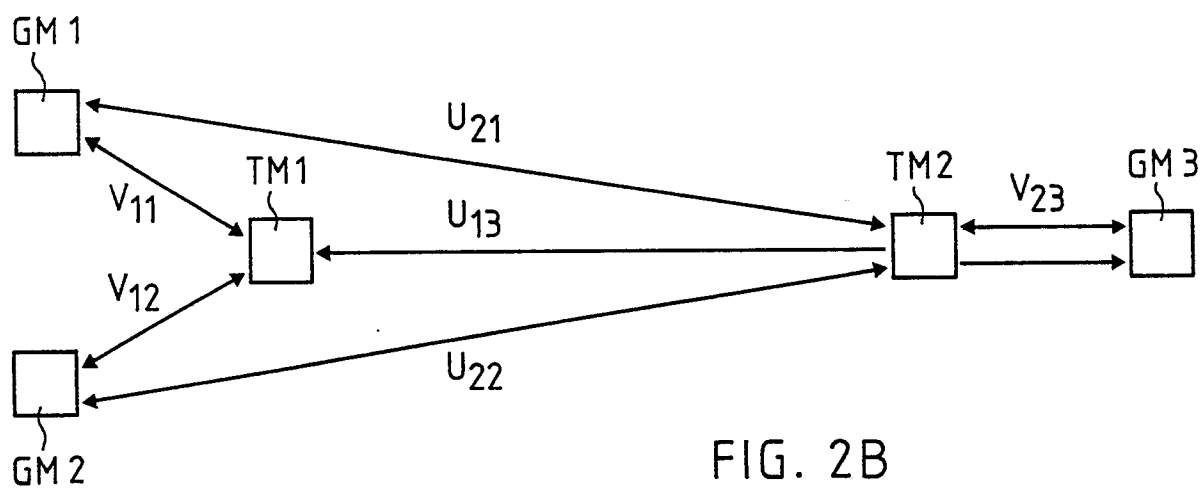
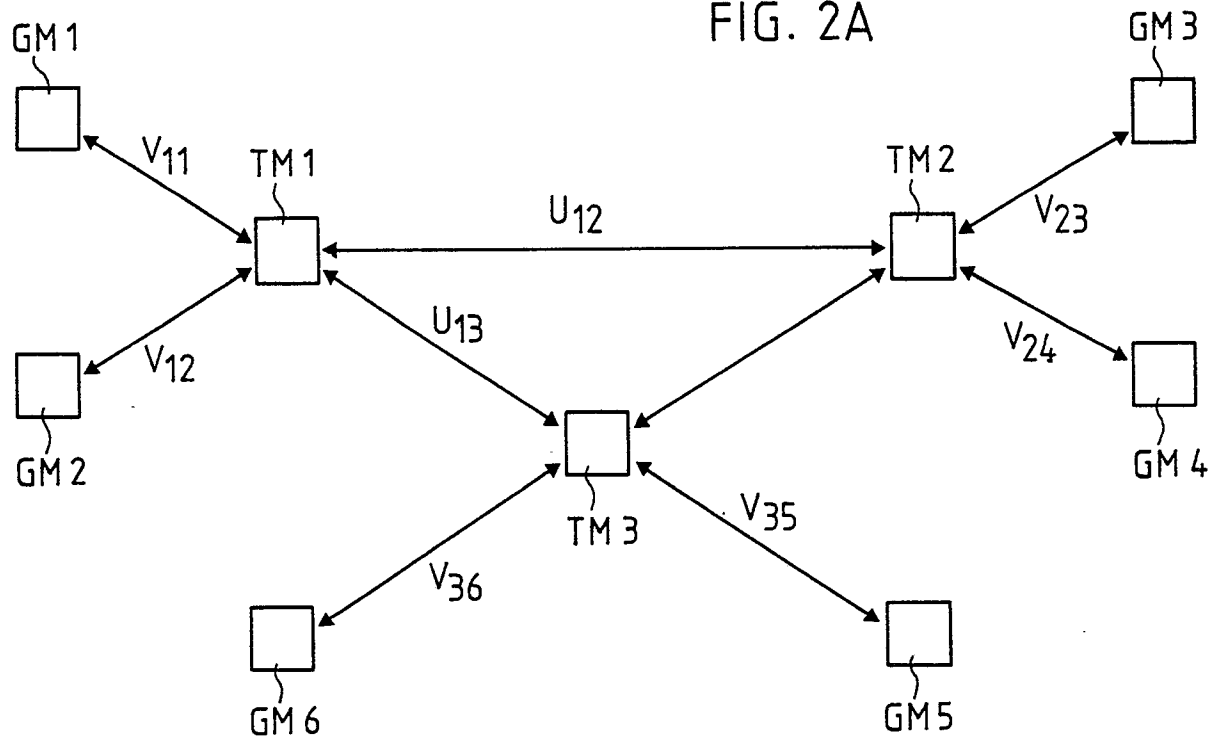
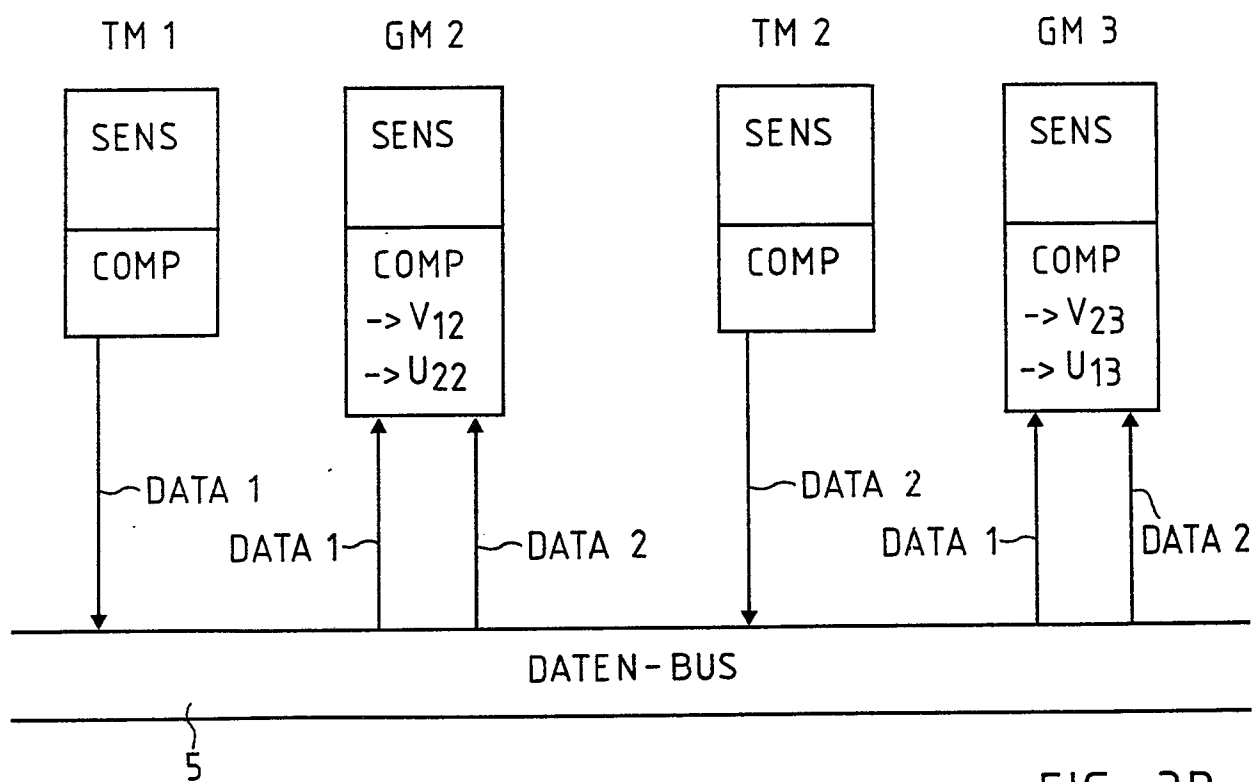
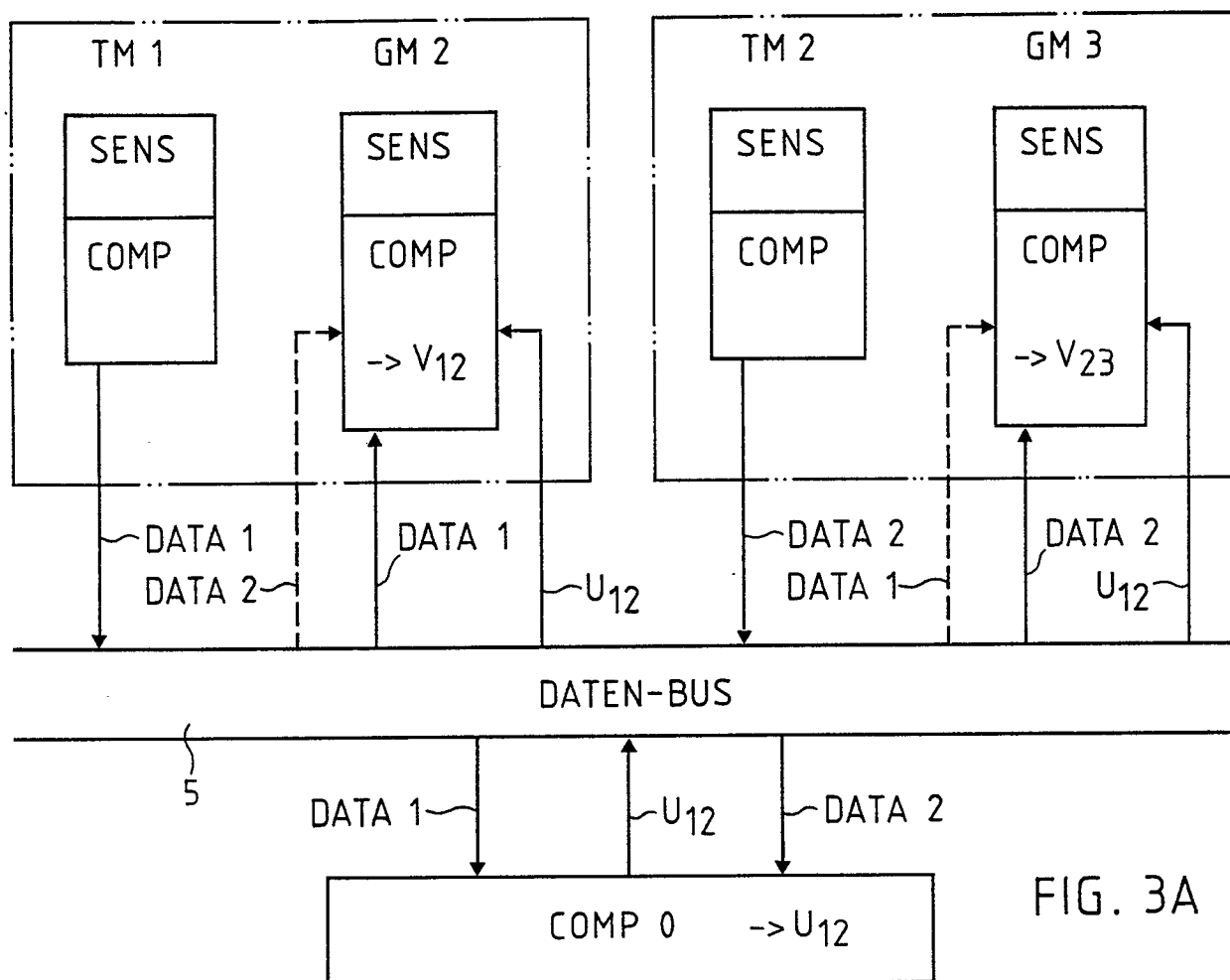


FIG. 2A



EP 0 383 043 A1



EP 0 383 043 A1

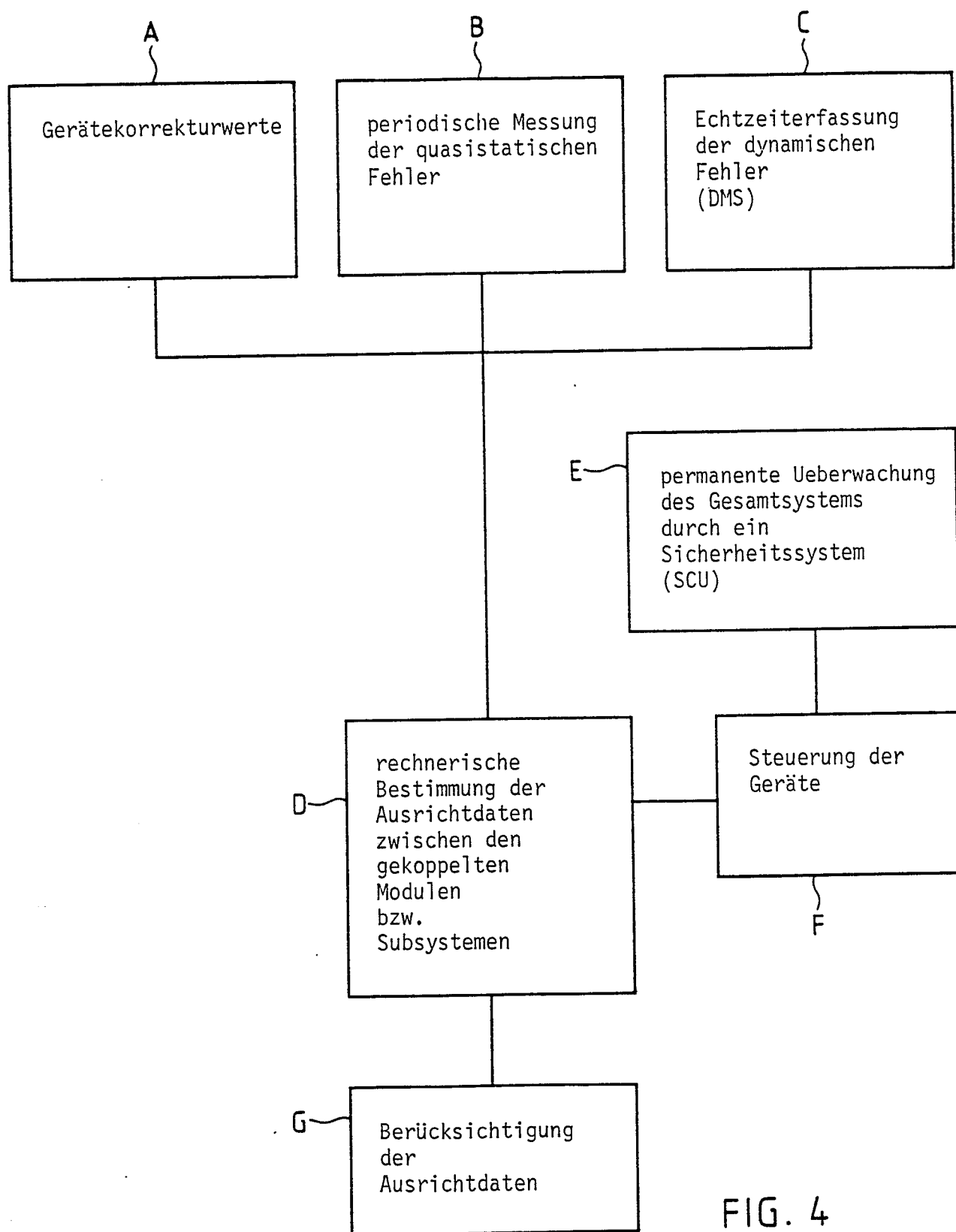


FIG. 4

EP 0 383 043 A1

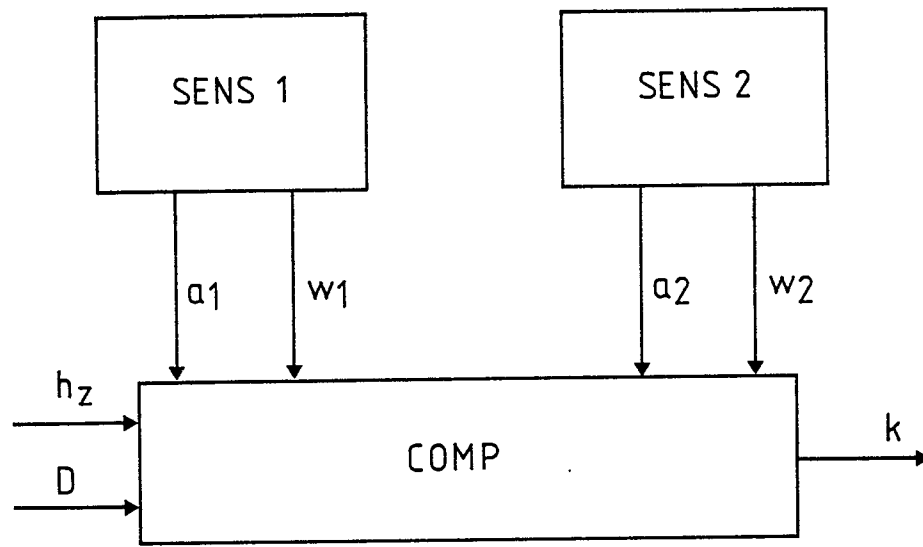


FIG. 5A

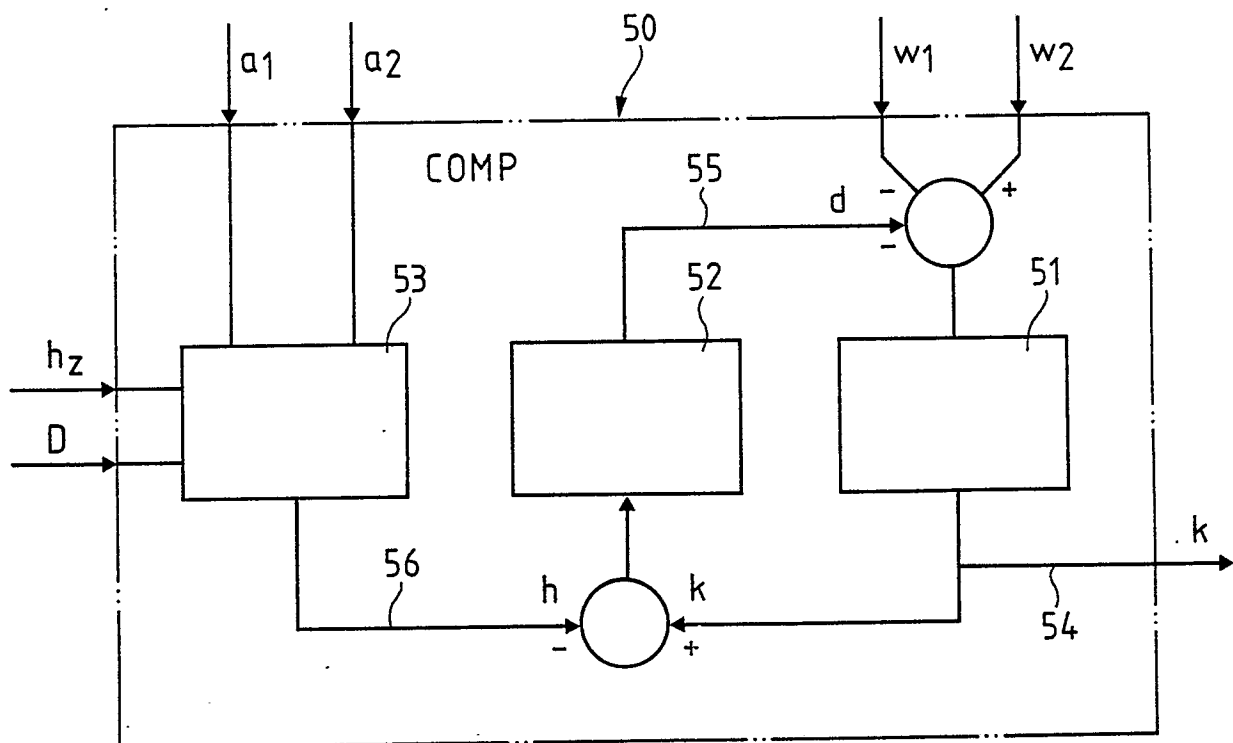


FIG. 5B



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 10 1076

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	US-A-3 803 387 (D.H. LACKOWSKI) * Das ganze Dokument * ---	1,4,7, 10,13	F 41 G 5/20 F 41 G 5/26
A	DE-A-2 125 780 (LICENTIA) * Das ganze Dokument * ---	1	
A	DE-B-1 236 806 (C. PLATH) * Das ganze Dokument * ---	1	
A,D	GB-A-2 112 965 (BLOHM AND VOSS) * Seite 1, Zeile 78 - Seite 2, Zeile 19; Seite 2, Zeilen 110-116 * ---	1,5-7,9	
A	EP-A-0 082 539 (BLOHM AND VOSS) * Das ganze Dokument * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			F 41 G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 23-05-1990	Prüfer VAN WEEL E.J.G.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE. X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur 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 andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			