



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 841 647 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.05.1998 Patentblatt 1998/20

(51) Int. Cl.⁶: G08G 1/042, G08G 1/015

(21) Anmeldenummer: 97118758.8

(22) Anmeldetag: 29.10.1997

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

(30) Priorität: 12.11.1996 DE 19646632

(71) Anmelder:
Deutsche Forschungsanstalt für
Luft- und Raumfahrt e.V.
51147 Köln (DE)

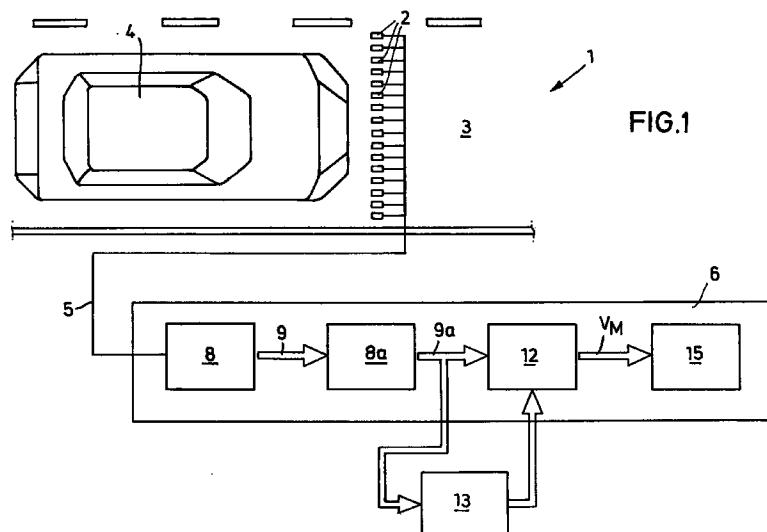
(72) Erfinder:
• Wasserberg, Klaus
51063 Köln (DE)
• Lehmann, Alfred
42579 Heiligenhaus (DE)

(74) Vertreter:
Selting, Günther, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte
von Kreisler, Selting, Werner
Postfach 10 22 41
50462 Köln (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrsüberwachung

(57) Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrsüberwachung, mit dem bzw. der die magnetische Charakteristik eines Fahrzeugs (4) gemessen wird. Die Messung erfolgt mit einer quer zur Fahrbahn (3) angeordneten Kette von Magnetfeldsensoren (2). Die von den Magnetfeldsensoren (2) erzeugten Sensorsignale werden in den Sensoreinheiten (2) digital gewandelt

und als Meßwert (7) parallel zu einer Rechnereinheit (6) übertragen. Dort werden die Meßwerte (7) zu einer eindimensionalen aufbereiteten Meßwertfolge (9a) zusammengefaßt und mit einer Transformationsmatrix (M_T) zu einem das Fahrzeug (4) identifizierenden Merkmalsvektor (V_M) normiert und reduziert.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verkehrsüberwachung mit dem bzw. der es möglich ist, einzelne Fahrzeuge zu erfassen und wiederzuerkennen.

5 Das Verkehrsraufkommen ist in den letzten Jahrzehnten stetig angestiegen. Diese Tendenz wird sich auch in der Zukunft fortsetzen. So wird es immer wichtiger, das Verkehrsnetz bis ins Detail planen zu können und mit verschiedenen Maßnahmen die Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes zu steigern. Der Einsatz von intelligenten Verkehrsleitsystemen, ein flexibler öffentlicher Personennahverkehr und bauliche Maßnahmen werden die wesentlichen Ansatzpunkte für Verbesserungen sein. Für alle Maßnahmen wird eine detaillierte Analyse des Verkehrsraufkommens 10 und der derzeitigen Verkehrsströme zugrundegelegt werden müssen. Um die Verkehrsströme analysieren zu können, muß man den Weg der Fahrzeuge vom Start zum Ziel feststellen.

Derzeit werden Start-Ziel-Verfolgungen mittels Befragungen durchgeführt. Diese sind aber personal- und kostenintensiv und nur über kurze Zeiträume durchführbar. Das gleiche gilt für Verkehrszählungen, die zur Analyse von Verkehrsströmen durchgeführt werden.

15 Bekannt sind in die Fahrbahndecke eingelassene Induktionsschleifen, die zum Beispiel zur Steuerung von Ampelanlagen eingesetzt werden. Einzelne Fahrzeuge können mit dieser Vorrichtung nicht erfaßt und wiedererkannt werden, allenfalls können durch Auswertung der Induktionssignale die Fahrzeuge bestimmten Kategorien, z.B. Fahrzeugtypen, zugeordnet werden. Außerdem sind die Induktionsschleifen sowohl in der Beschaffung als auch in der Installation teuer.

20 Aus der DE 42 31 881 A1 ist eine Anordnung zum Erfassen von Verkehrsgrößen mit Hilfe von mehreren Induktionsschleifen bekannt. Die Induktionsschleifen sind in einer oder mehreren hintereinanderliegenden Reihen quer zur Fahrbahn angeordnet. Die Empfindlichkeit der Induktionsschleifen wird durch mehrere die eigentliche Sensorschleife umgebende Hilfsschleifen heraufgesetzt. Die Sensorschleifen sind an eine Auswerteeinrichtung angeschlossen, die den Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom in der Sensorschleife mißt.

25 Neben der magnetischen Erfassung sind auch Vorrichtungen zur optischen Erfassung von Fahrzeugen bekannt. Solche Systeme werden zum Beispiel in Verkehrsleitsystemen auf Autobahnen eingesetzt. Mit diesen optischen Sensoren ist eine Identifizierung eines Fahrzeugs nicht möglich. Es wird bloß erkannt, ob ein Fahrzeug vorbeigefahren ist.

30 Mit Kameras ist es möglich, Autos zu erfassen und auch wiederzuerkennen. Problematisch sind dabei die typischerweise sehr großen Datensätze sowie datenschutzrechtliche Bedenken, denn das Fahrzeug wird soweit identifiziert, daß der Fahrzeughalter ermittelbar ist.

In der DE 35 21 655 A1 ist eine Einrichtung zum Erfassen von Fahrzeugverkehr mit Magnetfelddetektoren beschrieben. Die Magnetfelddetektoren messen Störungen eines vorgegebenen Magnetfeldes durch ein Fahrzeug, so daß das Vorhandensein und/oder die Bewegung eines Fahrzeuges ermittelbar ist. Mit dieser Einrichtung sind jedoch verschiedene Fahrzeugtypen unterscheidbar.

35 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verkehrsüberwachung zu schaffen, mit dem bzw. der Fahrzeuge erfaßt und wiedererkannt werden, wobei der Fahrzeughalter jedoch anonym bleibt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 bzw. 5 gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die magnetische Charakteristik eines vorbeifahrenden Fahrzeugs an mehreren quer über die Fahrbahn verteilten Magnetfeldsensoren jeweils an mehreren örtlich auseinanderliegenden 40 Stellen selektiv gemessen. Dies erfolgt zu mehreren aufeinanderfolgenden Zeitpunkten. Aus der Vielzahl der enthaltenen Sensorsignale wird ein Merkmalsvektor erzeugt, der das Fahrzeug charakterisiert und es somit wiedererkennbar macht. Das Verfahren arbeitet so genau, daß selbst zwischen Fahrzeugen des gleichen Modells unterschieden werden kann. Da nur die magnetische Charakteristik des Fahrzeugs gemessen wird, sind keine Rückschlüsse auf den Halter des Fahrzeuges möglich.

45 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Verkehrsüberwachung weist eine quer zur Bewegungsrichtung des Verkehrs angeordnete Reihe von Magnetfeldsensoren auf, deren Signale in einer Rechnereinheit verarbeitet werden. Zunächst werden die analogen Sensorsignale digital gewandelt und in einem Meßwert zusammengefaßt, mehrere dieser zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten entstandenen Meßwerte werden dann zu einer eindimensionalen aufbereiteten Meßwertfolge zusammengefügt. Diese aufbereitete Meßwertfolge wird mit einer Transformationsmatrix zu einem 50 das jeweilige Fahrzeug identifizierenden Merkmalsvektor umgewandelt. Bedingt durch diese Verarbeitung der Sensorsignale wird die Erkennbarkeit der Fahrzeuge erhöht und der Umfang des das Fahrzeug identifizierenden Datensatzes verringert, wodurch die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Vorrichtung erhöht wird.

In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung sind die Magnetfeldsensoren derart empfindlich, daß sie das Erdmagnetfeld messen und die durch das Fahrzeug hervorgerufenen Änderungen des Erdmagnetfeldes ermitteln. 55 Dadurch wird eine hohe Meßgenauigkeit der Einzelmessungen garantiert, so daß auch gleiche Fahrzeugmodelle mit identischer Ausstattung unterschieden werden können. Erprobungen der Erfindung haben ergeben, daß Fahrzeuge allein schon durch die unterschiedlichen Walzrichtungen der Karosseriebleche unterschieden werden können.

Vorteilhafterweise sind über eine Meßbreite von 3,60 m, dies entspricht einer Fahrspur, mindestens 12 Magnetfeld-

sensoren in einer Reihe angeordnet. Dadurch wird eine ausreichende Meßauflösung erreicht, um die Fahrzeuge sicher erfassen und wiedererkennen zu können.

5 In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung geben die Magnetfeldsensoren unter Vorgabe eines Taktes die Sensorsignale gleichzeitig aus. Dies hat den Vorteil, daß die Sensorsignale parallel verarbeitet werden können, wodurch sie schneller und leichter zu einem Meßwert zusammenfaßbar sind.

Die Meßwerte können zunächst zu einer mehrdimensionalen Meßwertfolge zusammengefaßt werden, die dann zu einer aufbereiteten eindimensionalen Meßwertfolge in Vektorform reduziert wird. So wird aus einer ein Fahrzeug charakterisierenden Matrix ein Vektor, der noch ausreichend Informationen zur Charakterisierung des Fahrzeugs enthält. Der Vektor kann einfacher und schneller weiterverarbeitet werden als eine Matrix.

10 Bevorzugterweise geht die Transformationsmatrix aus einer Kovarianzmatrix hervor, die in einer Lernphase aus aufbereiteten eindimensionalen Meßwert folgen mehrerer Fahrzeuge gebildet wird. Eine Kovarianzmatrix ist ein unter anderem aus der Bilderkennung bekanntes statistisches Mittel, mit dem Abweichungen eines Einzelmusters von dem Durchschnittswert aller Muster berechnet werden können. Mit dieser Methode kann der Umfang des Merkmalsvektors verringert werden, da die Fahrzeuge durch Abweichungen vom Durchschnitt charakterisiert werden und nicht durch einen kompletten Satz von Meßwerten. Dies ermöglicht eine schnelle Verarbeitung der Sensorsignale.

15 Die Analog-Digital-Wandlung der analogen Sensorsignale kann direkt in den Sensoreinheiten erfolgen, wodurch die Störanfälligkeit der Datenübertragung von den Magnetfeldsensoren zu der Rechnereinheit verringert wird.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

20 Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau einer Verkehrsüberwachungsvorrichtung,

Fig. 2 eine aus den Sensorsignalen der Magnetfeldsensoren gewonnene mehrdimensionale Meßwertfolge,

25 Fig. 3 eine aufbereitete Meßwertfolge,

Fig. 4 eine Kovarianzmatrix, die aus einer Stichprobe von ca. 3800 Fahrzeugen gebildet wurde,

30 Fig. 5 eine Transformationsmatrix als Diagonalmatrix mit den Eigenwerten der Kovarianzmatrix als Diagonalelemente,

Fig. 6 einen Merkmalsvektor, der durch Anwendung der Transformationsmatrix auf die aufbereitete Meßwertfolge gebildet wird, und

35 Fig. 7 den prinzipiellen Aufbau eines Magnetfeldsensors.

Figur 1 zeigt eine Verkehrsüberwachungsvorrichtung 1 mit sechzehn Magnetfeldsensoren 2, die in einer geradlinigen Reihe quer zu einer Fahrbahn 3 verlegt sind. Die Sensoren 2 sind entweder in der Fahrbahndecke eingelassen oder unter einer überfahrbaren Schwelle auf der Fahrbahndecke befestigt. Die Magnetfeldsensoren 2 messen die 40 magnetische Charakteristik eines vorbeifahrenden Fahrzeugs 4. Sie sind so empfindlich, daß sie das Erdmagnetfeld messen. Während sich kein Fahrzeug 4 im Meßbereich der Magnetfeldsensoren 2 befindet, werden die dem Wert des Erdmagnetfeldes entsprechenden Sensorsignale der Magnetfeldsensoren 2 abgespeichert, um als Bezugswerte zur Verfügung zu stehen. Befindet sich ein Fahrzeug 4 im Meßbereich der Magnetfeldsensoren 2, wird der gemessene Wert größer als der abgespeicherte Bezugswert und die Differenz wird als Sensorsignal verwertet.

45 Die Sensoren 2 sind über eine Busleitung 5 mit einer Rechnereinheit 6 verbunden. Die auf ein Taktsignal der Rechnereinheit 6 von den Magnetfeldsensoren 2 ausgegebenen analogen Sensorsignale werden in den Magnetfeldsensoren 2 digital gewandelt und parallel über die Busleitung 5 an die Rechnereinheit 6 übertragen.

Nach jedem Taktimpuls, bei einem benutzten Takt von 1000 Hz, also nach jeder 1000stel Sekunde, liegt am Eingang der Rechnereinheit 6 ein digitaler Meßwert 7 (Fig. 2) mit einer Wortbreite von 16 Stellen (entsprechend den 50 16 Sensoren), wobei jede Stelle den zugehörigen Amplitudenwert A angibt. Der Meßwert 7 setzt sich also aus den einzelnen digital gewandelten und parallel übertragenen Sensorsignalen aller 16 Magnetfeldsensoren 2 zusammen.

In einem Meßwertfolgegenerator 8 werden die beim Passieren eines Fahrzeugs 4 nacheinander erzeugten Meßwerte 7 zu einer charakteristischen mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 zusammengefaßt. Dabei wird nach jedem Taktimpuls ein Meßwert 7 zu den vorher aufgenommenen Meßwerten hinzugenommen, bis das Fahrzeug 4 die Reihe 55 von Magnetfeldsensoren 2 komplett überfahren hat. In Fig. 2 ist eine derartige Meßwertfolge 9 in dreidimensionaler Form vereinfacht oder für ein sehr langsam fahrendes Fahrzeug dargestellt. Normalerweise besteht eine mehrdimensionale Meßwertfolge 9 aus wesentlich mehr Meßwerten 7.

Die Punkte S1 bis S16 auf der quer zur Fahrbahn gerichteten Koordinate S sind den einzelnen Magnetfeldsenso-

ren 2 zugeordnet. In Fahrbahnlängsrichtung ist die Koordinate t der Zeit aufgetragen. Nach jedem Taktimpuls wird zu den bis zu dem Zeitpunkt t_n aufgenommenen Meßwerten der aktuelle Meßwert 7 zu dem Zeitpunkt t_{n+1} hinzugefügt. Der Index n gibt dabei fortlaufend die Zahl der Taktzyklen an. So entsteht der nur durch den Zeittakt festgelegte Gitterabstand in Richtung der Koordinate t . Die Amplitude A eines Gitterpunktes steht in Relation zu dem gemessenen 5 Magnetfeld zu dem jeweiligen Zeitpunkt t_n an dem jeweiligen Magnetfeldsensor S. Der Gitterpunkt 11 charakterisiert ein Sensorsignal, das zum Zeitpunkt t_5 , d.h. fünf Taktzyklen nachdem das Fahrzeug 4 in dem Meßbereich der Sensoren 2 gelangt ist, von dem Sensor S2 aufgenommen wurde.

Die stärksten Amplituden A sind an vier Stellen 10 zu beobachten. Diese werden durch die Räder bzw. die Metallfelgen des Fahrzeugs 4 verursacht. Da Magnetfelder exponentiell abfallen, werden Teile des Fahrzeugs 4, die den 10 Magnetfeldsensoren 2 am nächsten sind, stärker erfaßt als weiter entfernte Teile. Dies erklärt die hohen Amplituden an den Stellen 10 im Bereich der Räder des Fahrzeugs 4.

Um die verschiedenen charakteristischen mehrdimensionalen Meßwertfolgen 9 vergleichbar zu machen, wird eine solche Meßwertfolge 9 in einer Extraktionsstufe 8a zu einer aufbereiteten eindimensionalen Meßwertfolge 9a zusammengefaßt, wobei der mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 Merkmale entzogen werden.

15 Die diskreten quantisierten Abtastwerte der charakteristischen mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 der Fahrzeuge können bereits als fahrzeugbeschreibend betrachtet werden. Die Datenmenge pro Fahrzeug ist jedoch relativ groß. Beispielsweise ergeben sich für ein 30 km/h schnelles Fahrzeug von 4 m Länge 480 Meßwerte pro Sensor (bei einem Takt von 1000 Hz). Bei 16 verwendeten Sensoren ergeben sich somit insgesamt 7680 Merkmalskomponenten, die nicht in einer für die Fahrzeugerkennung realistischen Zeit verarbeitbar sind. In der Extraktionsstufe 8a wird die Zahl 20 der Merkmalskomponenten auf 64 reduziert.

25 Die mehrdimensionalen Meßwertfolgen 9 enthalten zusätzlich Informationen, die nicht fahrzeugspezifisch sind (Irrelevanz), wie zum Beispiel die von den Rädern der Fahrzeuge hervorgerufenen Merkmalskomponenten 10. Die mehrdimensionalen Meßwertfolgen 9 werden so aufbereitet, daß objektspezifische Eigenschaften wie Momentangeschwindigkeit der Fahrzeuge, Fahrzeulgängen, Rausch- und Störanteile, Empfindlichkeit und Verstärkungsfaktoren der Detektoren unterschiedliche Bodenfreiheiten, Einfedern bei Fahrbahnunebenheiten beseitigt sind.

Zunächst wird die mehrdimensionale Meßwertfolge 9 in Richtung der t -Koordinate auf eine Länge von 32 Stützstellen reduziert. Diese Komprimierung entspricht einer Zeithormierung, da die Geschwindigkeit bzw. die Länge des Fahrzeuge eliminiert wird. Ein Zeitnormierungsfaktor wird aus dem Verhältnis zwischen Anzahl der aufgenommenen Stützpunkte der mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 in Richtung der t -Koordinate und der vordefinierten Anzahl (32) 30 der Stützstellen definiert. Dieser Normierungsfaktor bestimmt die Anzahl der Stützpunkte der originalen mehrdimensionalen Meßwertfolge, die zu einer Stützstelle der zeitnormierten mehrdimensionalen Meßwertfolge zusammengefaßt werden. Durch diese zusammenfassenden Stützpunkte der originalen Meßwertfolge wird jeweils eine Regressionsgrade gelegt, deren Steigung für die zeitnormierte Meßwertfolge umgerechnet wird.

35 In einem zweiten Schritt werden die Merkmalswerte bereichsweise zusammengefaßt und eine aufbereitete eindimensionale Meßwertfolge 9a in Vektorform (Figur 3) gebildet. Dies ist möglich, da eine heuristische Analyse der mehrdimensionalen Meßwertfolgen 9 zeigt, daß eine statistische Bindung zwischen den Merkmalskomponenten besteht. Sie wird vor allem durch die statistische Abhängigkeit des Eingangssignales verursacht. Allgemeine Konstruktionsprinzipien beeinflussen die Metallmassenverteilung an der Fahrzeugunterseite, so daß auch bei idealer Betrachtung keine unabhängigen Merkmalskomponenten gewonnen werden können. Darunter fallen insbesondere die von den Rädern 40 des Fahrzeuges hervorgerufenen Merkmalskomponenten 10. Deshalb werden zur weiteren Informationskomprimierung die Merkmalskomponenten, die von den Sensoren aufgenommen worden sind, welche im Bereich der Räder des Fahrzeugs angeordnet sind, aus der mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 entfernt. In diesem Fall werden die Merkmalskomponenten der Sensoren S₁ bis S₅ und S₁₂ bis S₁₆, die die Fahrzeugräder erfaßt haben, unterdrückt. Diese Merkmalskomponenten können jedoch zur Bestimmung der Fahrzeuggreite und des Achsenabstandes benutzt werden. 45 Sie sind daher zur Unterscheidung verschiedener Fahrzeugarten, insbesondere zur PKW-, LKW- und Motorrad-Klassifizierung gut geeignet.

Die verbliebenen Merkmalskomponenten der Sensoren S₆ bis S₁₁ werden zu zwei Gruppen zusammengefaßt. Dazu werden die Werte der ersten drei Sensoren (S₆ bis S₈) an den 32 Stützstellen jeweils zu einem Mittelwert zusammengefaßt, so daß eine Folge von 32 gemittelten Merkmalskomponenten entsteht. Die Merkmalskomponenten der drei 50 Sensoren S₉ bis S₁₁ werden entsprechend zusammengefaßt. Die beiden Folgen werden aneinander gehängt, so daß eine eindimensionale Meßwertfolge 9a in Form eines Meßwertvektors entsteht (Figur 3). Die ersten 32 Werte der eindimensionalen Meßwertfolge 9a stammen dabei von den Sensoren S₆ bis S₈, die letzten 32 Werte von den Sensoren S₉ bis S₁₁. So kann die Anzahl der Werte, die das Fahrzeug charakterisieren, auf 64 pro Fahrzeug beschränkt werden. Diese Anzahl liegt in einer für die Fahrzeugerkennung günstigen Größenordnung.

55 Abschließend wird in der Extraktionsstufe 8a noch die Amplitude der eindimensionalen Meßwertfolge normiert. Dazu wird zunächst die Maximalamplitude der eindimensionalen Meßwertfolge gesucht. Dieser Wert wird auf 255 festgelegt und bildet nach folgender Formel die Bezugsgröße für alle anderen Stützpunkte:

$$X(n)_{norm} = \frac{X(n)_{Abtast}}{X_{max}} \cdot 255$$

5 Nach der Formel wird der Amplitudenwert eines Meßpunktes ($X(n)_{Abtast}$) durch den Wert der maximalen Amplitude (X_{max}) geteilt und mit 255 multipliziert, um so amplitudennormierte Werte zu erhalten.

In Fig. 3 sind entlang der Abszisse die Nummern der das Fahrzeug charakterisierenden Werte und entlang der Ordinate die (auf 255 normierten) Beträge dieser Werte angegeben.

Nach Durchführung dieser drei Normierungen erhält man komplett normierte Komponenten einer aufbereiteten

10 eindimensionalen Meßwertfolge 9a mit 64 Werte, die das Fahrzeug vollständig beschreiben und weitgehend von nicht fahrzeugtypischen Einflüssen befreit sind.

Die charakteristische mehrdimensionale Meßwertfolge eines schrägfahrenden, z.B. überholenden, Fahrzeuges kann ebenfalls zu einer mit anderen aufbereiteten Meßwertfolgen vergleichbaren Meßwertvektor 9a normiert werden.

Der Meßwertvektor 9a wird in einem Merkmalsvektorgenerator 12 mit einer Transformationsmatrix M_T (Figur 5)

15 multipliziert. Die Transformationsmatrix M_T wird aus einer Kovarianzmatrix M_K , die in Figur 4 dargestellt ist, gewonnen. Die Kovarianzmatrix M_K wird in einer Lernphase aus den Meßwertvektoren 9a zahlreicher Fahrzeuge in einem Lern- teil 13 gebildet.

Dazu wird die Kenntnis der statistischen Eigenschaften der mehrdimensionalen Meßwertfolge 9 benötigt. Die Ent- 20 wicklung der Kovarianzmatrix M_K basiert auf der allgemeinen Karhunen-Loeve-Entwicklung (erläutert in "Klassifikation von Mustern", Heinrich Niemann, Springer Verlag, 1983).

Es handelt sich dabei um eine Reihenentwicklung auf der Basis eines autonormalen problemabhängigen Funktionensystems, das den Gesamtprozeß optimiert. Durch diesen Ansatz wird ohne Rücksicht auf eine Fahrzeugklasseneinteilung der Abstand aller Merkmalsvektoren V_M untereinander maximiert (Maximierung der Gesamtabstände). Eine Maximierung der Gesamtabstände lässt sich darstellen, indem die Vektoren im mehrdimensionalen Merkmalsraum möglichst weit auseinandergerückt werden. Die Klassifizierung wird dadurch erleichtert, daß eine einfache Unterscheidung der Vektoren möglich ist. Da jedes Fahrzeug durch einen Vektor 25 repräsentiert wird, führt die Maximierung des Vektorabstandes zu einer guten Klassifikation.

Die Eigenwerte der Kovarianzmatrix M_K sind die Diagonalelemente der eigentlichen Transformationsmatrix M_T . Die anderen Elemente der Transformationsmatrix M_T sind gleich Null. Bei der vorausgesetzten Gaußverteilung bedeutet das die statistische Unabhängigkeit (Unkorreliertheit) der Komponenten. Die Diagonalkomponenten sind zuerst sehr groß (das entspricht einem sehr hohen Informationsgehalt) und fallen dann sehr stark ab. Die Selektion der wichtigsten Komponenten erfolgt durch Vernachlässigung derjenigen Komponenten, die entsprechend ihren Eigenwerten nur noch einen geringen Informationsgehalt haben.

Die Vorschrift zur Berechnung des Merkmalsvektors V_M lautet $V_M = M_T \cdot X$. Mit dem Merkmalsvektor

35

$$40 \quad V_M = \begin{pmatrix} X_{T_1} \\ X_{T_2} \\ \vdots \\ X_{T_{M-1}} \\ X_{T_M} \end{pmatrix} \quad \text{und dem Eingangsvektor } X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{N-1} \\ X_N \end{pmatrix}$$

45

der mit der aufbereiteten eindimensionalen Meßwertfolge 9a gebildet wurde, sowie der Transformationsmatrix M_T in Diagonalform mit den Diagonalwerten $\Omega_{11} - \Omega_{MN}$.

50

55

5

10

15

$$M_T = \begin{bmatrix} \Omega_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Omega_{22} & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & & & 0 \\ \vdots & & & \vdots \\ 0 & & & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \Omega_{MN} \end{bmatrix}$$

Der aus der Transformation erhaltene Merkmalsvektor V_M ist in Figur 6 dargestellt. Entlang der Abszisse sind die Elemente des Merkmalsvektors V_{11} aufgetragen, während auf der Ordinate die bei der Transformation entstandenen und nicht normierten Werte der Elemente angegeben sind. Die Transformationsmatrix M_T wurde auf den Meßwertvektor angewendet, der 64 Elemente aufweist. Deshalb besteht auch der Merkmalsvektor V_M aus 64 Elementen. Die Elemente mit den höchsten Werten, d.h. mit der höchsten Unterscheidungskraft befinden sich unter den ersten 32 Elementen des Merkmalsvektors V_M . Die letzten 32 Elemente haben sehr kleine Werte oder den Wert Null, d.h. sie steuern keine wesentlichen Informationen zur Unterscheidung von Fahrzeugen bei. Daher können die letzten 32 Elemente vernachlässigt werden. Somit ergibt sich ein Merkmalsvektor V_M mit 32 Stellen, der ein Fahrzeug eindeutig charakterisiert.

In einem Komparator 15 wird der in dem Merkmalsvektorgenerator 12 erzeugte Merkmalsvektor V_M abgespeichert und mit den im Rechner 6 zuvor gespeicherten Merkmalsvektoren früherer Fahrzeuge verglichen. Ist der neue Merkmalsvektor V_M unbekannt, wird ein neuer Datensatz für das Fahrzeug 4 angelegt und gespeichert. Kann das Fahrzeug 4 anhand seines Merkmalsvektors V_M identifiziert werden, werden Ort und Zeitpunkt des Fahrzeuges 4 in den Datensatz aufgenommen.

In Figur 7 ist der Aufbau eines Magnetfeldsensors 2 gezeigt. Der Magnetfeldsensor 2 besteht aus zwei einzelnen Sensorkomponenten 2a und 2b, die in ihrer Längsrichtung um 90° zueinander verdreht angeordnet sind. Die Sensorkomponenten 2a und 2b haben Vorzugsrichtungen bezüglich der Meßempfindlichkeit. In Richtung ihrer Längsachsen ist die Meßempfindlichkeit gering. Um alle Richtungskomponenten des Magnetfeldes mit gleicher Empfindlichkeit erfassen zu können, werden die Sensorkomponenten 2a und 2b um 90° versetzt angeordnet, so daß die nachteilige Meßcharakteristik der einzelnen Sensorkomponenten 2a,2b ausgeglichen wird. Zur Erzeugung des Sensorsignals werden die beiden Komponentensignale geometrisch addiert. Das Sensorsignal wird digital gewandelt und über die Busleitung 5 an die Rechnereinheit 6 weitergegeben.

Der Meßwertfolgegenerator 8, die Extraktionsstufe 8a, der Merkmalsvektorgenerator 12 und der Komparator 15 können in der Rechnereinheit 6 auch durch entsprechende Software realisiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verkehrsüberwachung mit den folgenden Schritten:

45

50

55

- Messung der magnetischen Charakteristik eines vorbeifahrenden Fahrzeugs mit mehreren quer über die Fahrbahn (3) in einer Reihe angeordneten Magnetfeldsensoren (2) an mehreren örtlich auseinanderliegenden Stellen.
- Analog-Digital-Wandlung der von den Magnetfeldsensoren (2) erzeugten Sensorsignale,
- Zusammenfassen der einzelnen digital gewandelten Sensorsignale aller Sensoren (2) der Reihe zu einem Meßwert (7),
- Umwandeln der Meßwerte (7) in eine aufbereitete eindimensionale Meßwertfolge (9a),
- Transformieren der aufbereiteten eindimensionalen Meßwertfolge (9a) mit Hilfe einer Transformationsmatrix (M_T) in einen Merkmalsvektor (V_M), der dem Fahrzeug (4) zugeordnet und abgespeichert wird, und

- Vergleichen des Merkmalsvektors (V_M) mit früher ermittelten Merkmalsvektoren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte (7) zu einer mehrdimensionalen charakteristischen Meßwertfolge (9) zusammengefügt werden, welche auf die aufbereitete eindimensionale Meßwertfolge (9a) reduziert wird.
- 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsmatrix (M_T) eine Diagonalmatrix ist, deren Diagonalelemente Eigenwerte einer Kovarianzmatrix (M_K) sind, wobei die Kovarianzmatrix (M_K) in einer Lernphase aus aufbereiteten mehrdimensionalen Meßwertfolgen (9a) mehrerer Fahrzeuge (4) gebildet wird.
- 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Analog-Digital-Wandlung der Sensorsignale in den Sensoreinheiten (2) erfolgt.
- 15
5. Verkehrsüberwachungsvorrichtung mit mehreren quer über die Fahrbahn (3) in einer Reihe angeordneten Magnetfeldsensoren (2) an mehreren örtlich auseinanderliegenden Stellen und mit einer die Sensorsignale verarbeitenden Rechnereinheit (6), die den analogen Sensorsignalen entsprechende digitale Meßwerte (7) zu einer eindimensionalen aufbereiteten Meßwertfolge (9a) umwandelt, welche mit einer Transformationsmatrix (M_T) zu einem das jeweilige Fahrzeug (4) identifizierenden Merkmalsvektor (V_M) transformiert wird.
- 20
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldsensoren (2) die durch das Fahrzeug (4) hervorgerufenen Änderungen des Erdmagnetfeldes messen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß über eine Meßbreite von 3,60 m mindestens zwölf Magnetfeldsensoren (2) in einer Reihe angeordnet sind.
- 25
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldsensoren (2) unter Vorgabe eines Taktes die Sensorsignale gleichzeitig ausgeben.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsmatrix (M_T) eine Diagonalmatrix ist, deren Diagonalelemente Eigenwerte einer Kovarianzmatrix (M_K) sind, wobei die Kovarianzmatrix (M_K) in einer Lernphase aus aufbereiteten, eindimensionalen Meßwertfolgen (9a) mehrerer Fahrzeuge (4) gebildet ist.
- 30
- 35 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Analog-Digital-Wandlung der Sensorsignale in den Sensoreinheiten (2) erfolgt.

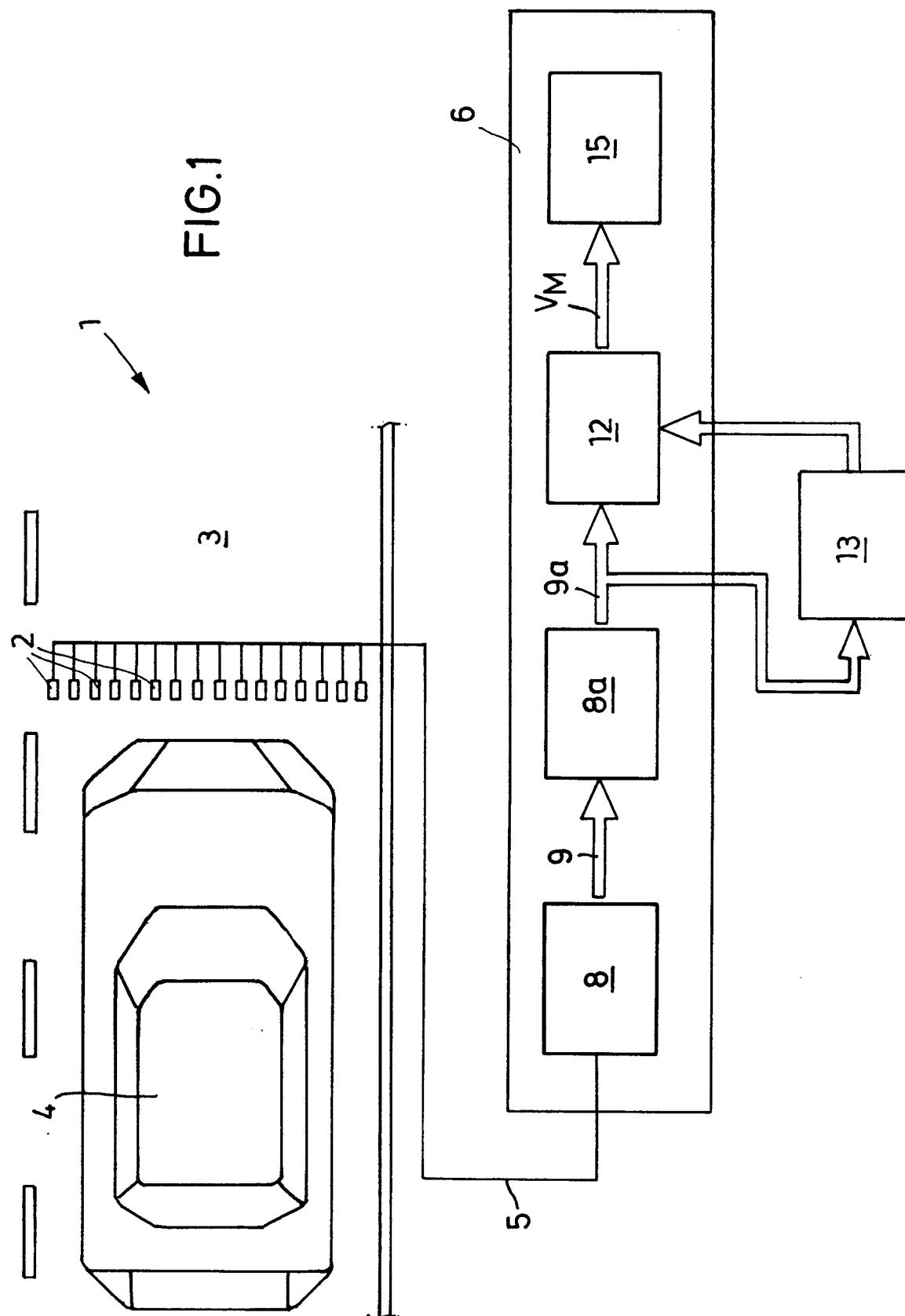
40

45

50

55

FIG.1



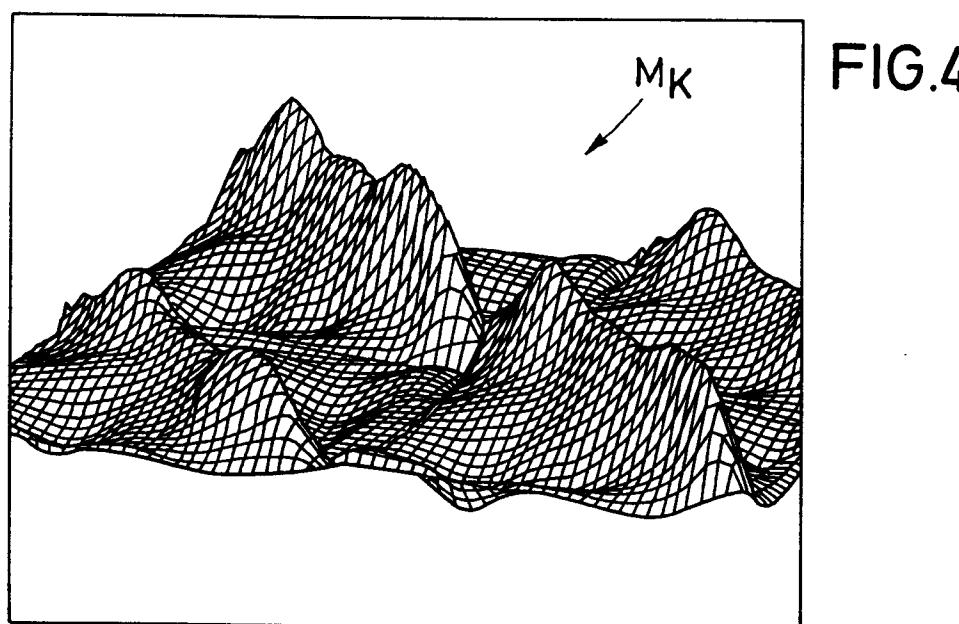
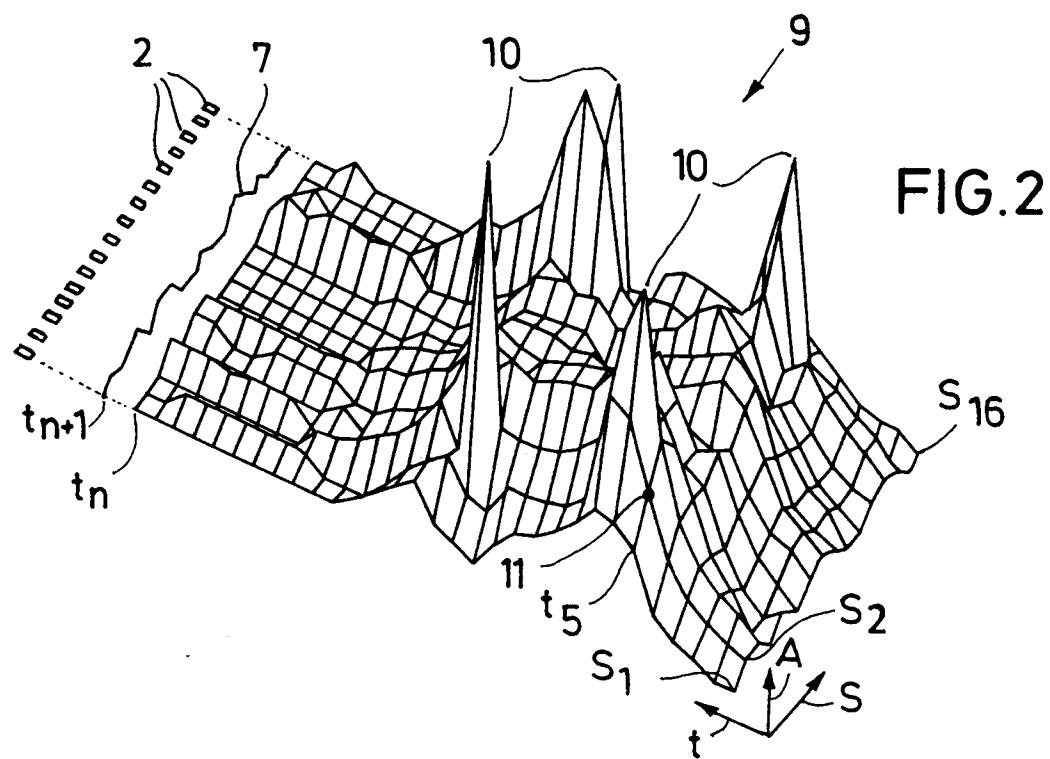
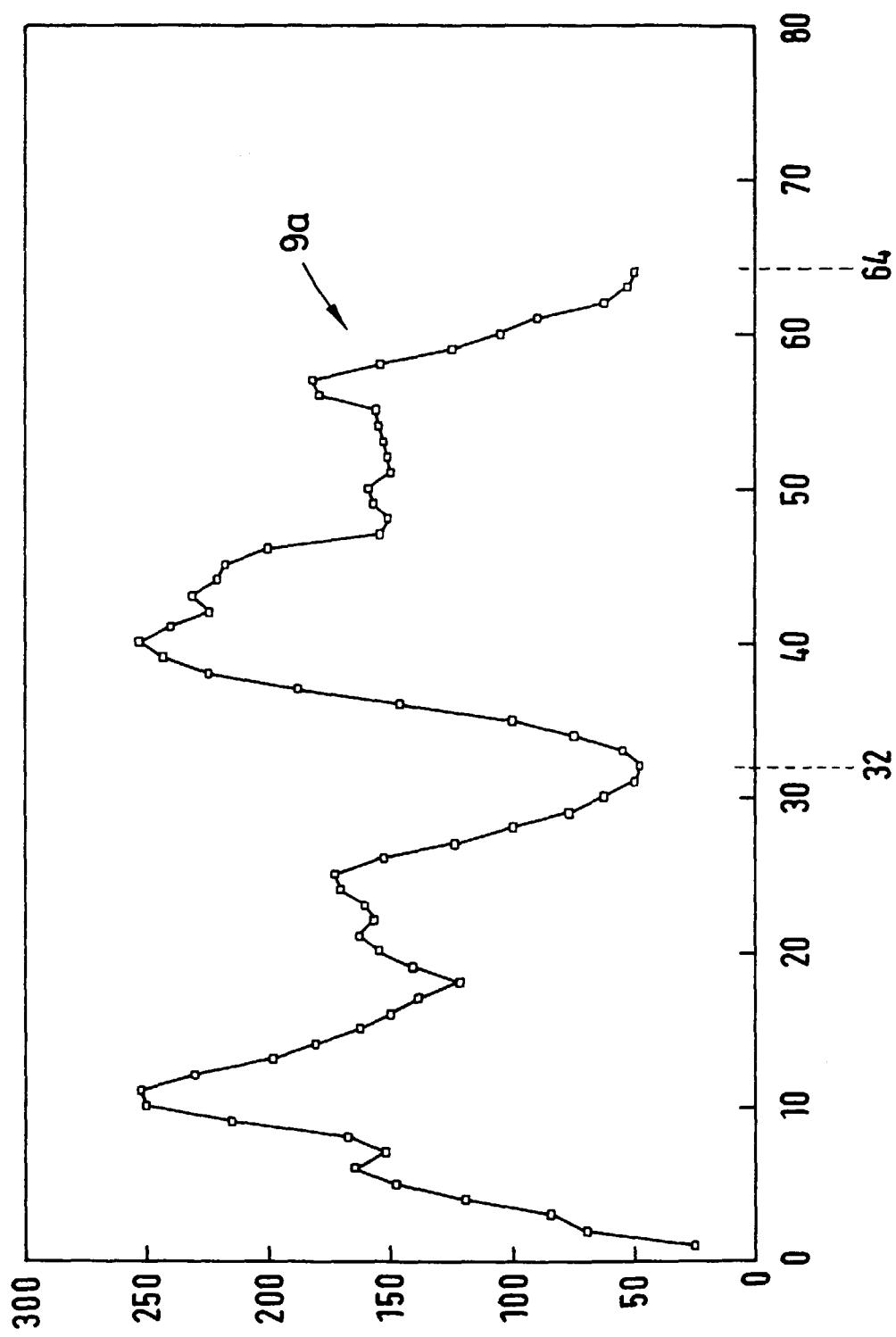


FIG.3



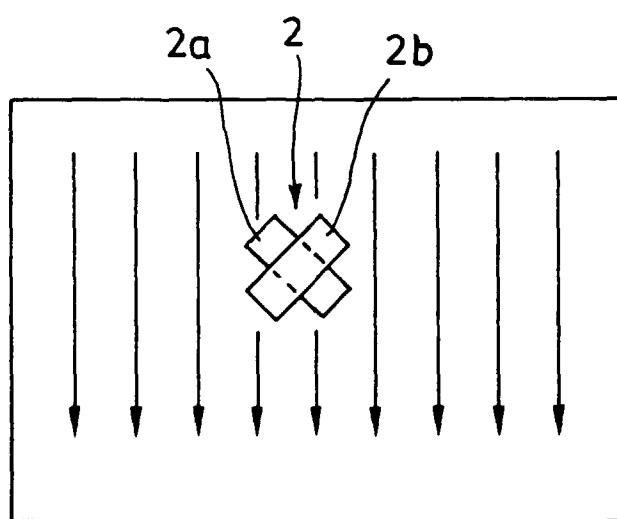
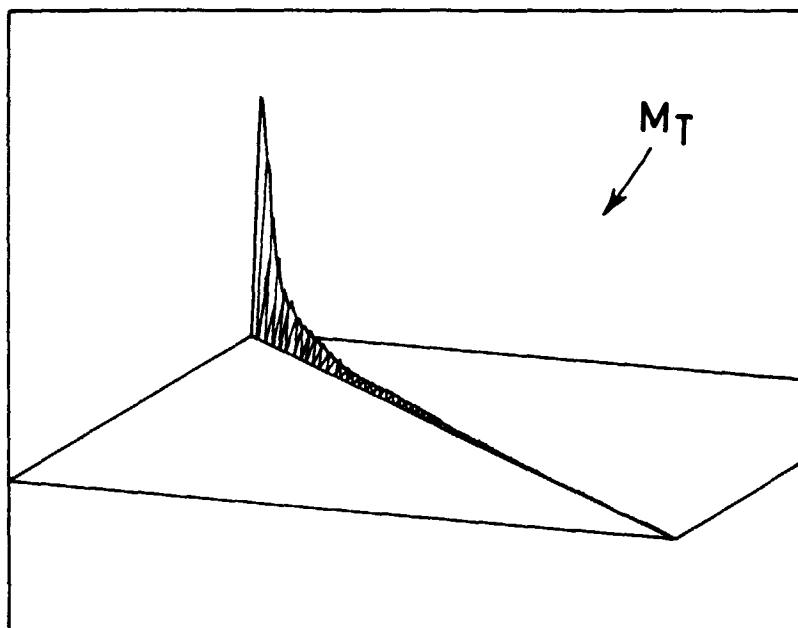
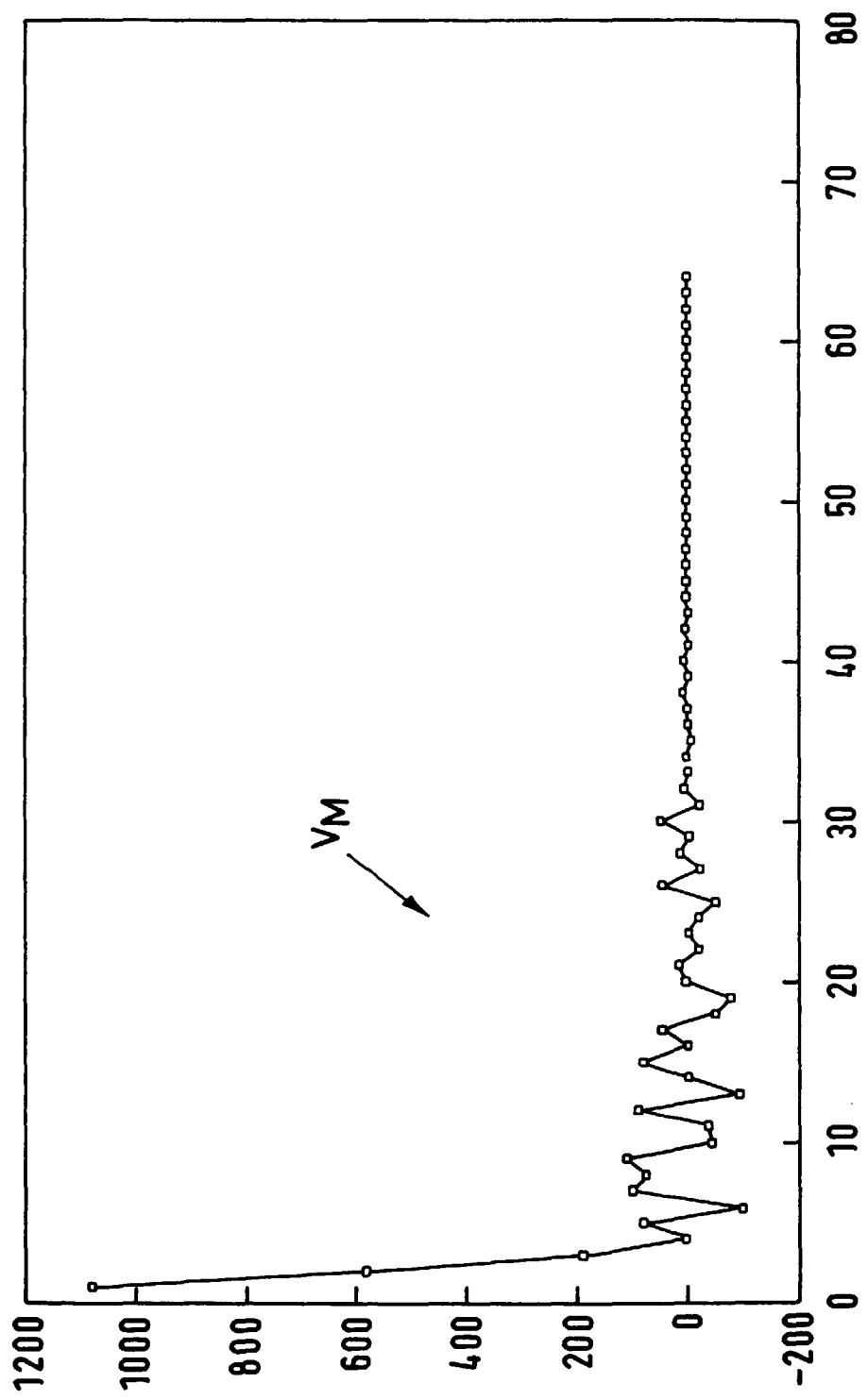


FIG.6





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 97 11 8758

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	WO 95 28693 A (HONEYWELL INC) * das ganze Dokument *	1,5,6	G08G1/042 G08G1/015
A	US 5 264 793 A (LO ALLEN K ET AL) * das ganze Dokument *	1-3,5,9	
D,A	DE 35 21 655 A (MUELLER IND MANAGEMENT GMBH) * das ganze Dokument *	1,4-6,10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.6)
			G08G G01V
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	4. März 1998	Reekmans, M	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		<p>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</p>	
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			