



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 821 334 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
28.01.1998 Patentblatt 1998/05

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **G08G 1/08**

(21) Anmeldenummer: 96111984.9

(22) Anmeldetag: 25.07.1996

(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 SI**

(71) Anmelder: **Thomas, Riedel**  
**8304 Wallisellen (CH)**

(72) Erfinder: **Thomas, Riedel**  
**8304 Wallisellen (CH)**

(74) Vertreter:  
**Blum, Rudolf Emil Ernst et al**  
**c/o E. Blum & Co**  
**Patentanwälte**  
**Vorderberg 11**  
**8044 Zürich (CH)**

### (54) Verfahren und Vorrichtung zur Verkehrsregelung

(57) Zur Regelung des Verkehrs dient ein Regler (3), der mittels Verkehrskontrollsignalen (VS) eine oder mehrere Ampeln (2) kontrolliert. Zur Erfassung des Verkehrs sind verschiedene Detektoren (4) vorgesehen, deren Signale (DS) an einen Beobachter (5) weitergeleitet werden. Der Beobachter ist ein Rechner, der aufgrund der Detektorsignale (DS) sowie der Verkehrskontrollsignale (VS) ein Modell des Verkehrs simuliert. In diesem Modell werden die Positionen und

Bewegungen der einzelnen Fahrzeuge dauernd nachgerechnet und nötigenfalls an die Detektorsignale (DS) angepasst. Dies erlaubt es, aus den Detektorsignalen (DS) eine Vielfalt von Informationen über den Verkehr abzuleiten. Diese Informationen werden als Beobachter-Angaben (BA) an den Regler (3) weitergeleitet, so dass dieser den Verkehr bezüglich gewünschter Zielwerte optimieren kann.

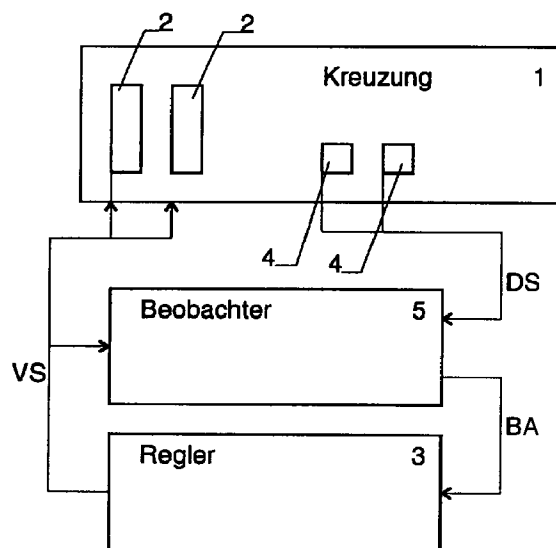


Fig. 2

EP 0 821 334 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verkehrsregelung gemäss dem Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche.

Herkömmliche Steuerung und Regelung von Strassenkreuzungen durch Ampeln nutzt den theoretisch möglichen Fluss über die Kreuzung nicht optimal; es entstehen leicht Leerzeiten mit grünen Phasen für Zufahrten, für welche keine Fahrzeuge vorhanden sind.

Versieht man eine Kreuzung mit Fahrzeugdetektoren, so kann sich die Regelung an die augenblickliche Verkehrssituation anpassen. Die Messungen der Detektoren werden dabei normalerweise durch Zähler interpretiert, welche die Zuflüsse zur Kreuzung quantifizieren.

In der Praxis erreichen jedoch auch mit Detektoren ausgerüstete Systeme den optimalen Verkehrsfluss bei weitem nicht. Auch sind sie kaum geeignet, andere Zielgrössen zu optimieren, wie z.B. den gesamten Energieverbrauch oder die Wartezeiten für den öffentlichen Verkehr.

Es stellt sich deshalb die Aufgabe, eine Vorrichtung bzw. ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, die eine bessere Verkehrsregelung erlauben d.h. mit denen eine bessere Optimierung einer gewünschten Zielgrösse möglich ist.

Diese Aufgabe wird vom Gegenstand der unabhängigen Ansprüche erfüllt.

Erfindungsgemäss werden die von den Detektoren kommenden Signale also nicht in ihrer Rohform zur Verkehrssteuerung bzw. -regelung verwendet, sondern sie werden benutzt, um ein Modell zu erstellen, das die Orte und die Bewegung (z.B. die Geschwindigkeit) einzelner Fahrzeuge, vorzugsweise im wesentlichen aller Fahrzeuge, simuliert. Auf diese Weise können aus den Detektorsignalen vielfältige und reiche Informationen über den Verkehr ermittelt werden. Mit diesen Informationen kann sodann eine effizientere Steuerung bzw. Regelung des Verkehrs durchgeführt werden.

Vorzugsweise werden die Detektorsignale dazu verwendet, um im Modell verwendete Grössen nachzuführen, insbesondere um ein Fahrzeug im Modell zu erzeugen, die Position und/oder Geschwindigkeit eines bestehenden Fahrzeugs zu korrigieren oder ein bestehendes Fahrzeug aus dem Modell zu löschen. Ferner können mittels der Detektorsignale und/oder mit Daten aus dem Modell typische Werte einzelner Grössen, wie z.B. die Geschwindigkeit eines in die Simulation einfahrenden Fahrzeugs, ermittelt werden. Diese Grössen können verwendet werden, um z.B. die Anfangsgeschwindigkeit eines neu im Modell erzeugten Fahrzeugs abzuschätzen. Diese Grössen werden vorzugsweise dauernd nachgeführt, so dass eine Änderung des Verkehrsverhaltens (z.B. durch Regen oder Nebel) automatisch zu einer Anpassung des Modells führt.

Um die Aufstellung eines Algorithmus zur Berechnung des Modells zu erleichtern, werden dessen Para-

meter vorzugsweise zumindest teilweise als graphische Darstellung eingegeben, welche sodann in eine vom Steuerprogramm des Beobachters lesbare bzw. ausführbare Form umgewandelt werden.

Weitere Anwendungen und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nun folgenden Beschreibung einer konventionellen Anlage und einer Ausführung einer erfindungsgemässen Anlage anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Steuerung bzw. Regelung gemäss dem Stand der Technik,

Fig. 2 eine erfindungsgemässe Regelung,

Fig. 3 eine einfache Streckenanordnung,

Fig. 4 den Synchronisationsalgorithmus einer ersten Ausführung der Erfindung bei einem Signal von einem ersten Detektor,

Fig. 5 den Synchronisationsalgorithmus bei einem Signal von einem zweiten Detektor,

Fig. 6 den Synchronisationsalgorithmus bei einem Signal von einem dritten Detektor,

Fig. 7 eine graphische Darstellung eines Modells,

Fig. 8 eine Detailansicht eines Synchronisations-symbols von Fig. 7 und

Fig. 9 - 12 Synchronisationsschritte gemäss einer zweiten Ausführung der Erfindung.

Zur Veranschaulichung der Erfindung wird zuerst in Fig. 1 eine konventionelle Anlage gezeigt. Diese Anlage ist zur Kontrolle der Ampeln 2 bei einer Kreuzung 1 vorgesehen. Zur Ansteuerung der Ampeln 2 ist ein Regler 3 vorgesehen, der Signale DS von Detektoren 4 empfängt. Die Detektoren 4 sind in der Regel einfache Fahrzeugdetektoren, die ein Signal abgeben, wenn ein Fahrzeug durch ihren Messbereich tritt, z.B. Induktionsschleifen, Ultraschalldetektoren, Infrarotdetektoren oder sogar Kameras mit Bildverarbeitung.

Der Regler 3 kontrolliert mittels Verkehrskontrollsignalen VS die Ampeln 2 aufgrund der Detektorsignale DS. Die Ansteuerung der Ampeln 2 kann direkt geschehen, in der Regel ist jedoch zwischen dem Regler 3 und den Ampeln 2 zur Gewährleistung der nötigen Sicherheit noch eine lokale Ampelsteuerung angeordnet.

Aufgrund der Detektorsignale DS erhält der Regler eine Rückmeldung zum momentanen Verkehrszustand. Da der Regler 3 diese Rückmeldung in seinen Algorithmen berücksichtigt, handelt es sich um eine Regelung im Sinne der Automatik. Anstelle des Reglers 3 kann jedoch auch eine einfache Steuerung vorgesehen sein. Eine Steuerung einer Strecke (eines zu regelnden Objektes, hier der Kreuzung oder eines Systems aus mehreren Kreuzungen) kommt ohne Rückkopplung aus; im Gegensatz dazu basiert die Regelung einer Strecke auf einer Rückkopplung. Rückkopplung beachtet das Resultat einer Handlung, nicht nur ihre Voraussetzungen. Mit Rückkopplung ist es möglich, ein gewünschtes Ziel anzustreben und überprüfbar zu erreichen. Die Rückkopplung geschieht durch Messun-

gen des Zustandes der Strecke, welche zu regeln ist.

Eine Steuerung von Verkehrskreuzungen geschieht in konventionellen Anlagen meist durch zyklische Abfolgen von Phasen, welche an den Ampeln angezeigt werden. Für die Regelung einer Verkehrskreuzung messen Detektoren das Verkehrsgeschehen rund um die Kreuzung (Individualverkehr, öffentlicher Verkehr, Fussgänger). Anhand der Messungen durch die Detektoren kann das Befahren bestimmter Strassenabschnitte erkannt und es können Fahrzeuge gezählt werden. Nach Kriterien, die beim Entwurf der Regelung gewählt worden sind, werden den Ampeln Phasenlängen und -abfolgen zugeteilt.

Zum Zweck einer Koordination mit benachbarten Kreuzungen werden auch hier meist Zyklen angestrebt, wobei die Abfolge der Phasen innerhalb eines Zyklus in bestimmten Grenzen frei gewählt werden kann. Es ist aber auch eine freie Zuteilung der Phasen, je nach Verkehrsaufkommen, denkbar.

Es ist möglich, den Regler systematisch zu entwerfen, so dass er eine gegebene Zielfunktion optimiert. Dies kann die Maximierung der Flusskapazität einer Kreuzung sein oder die Minimierung der Schadstoffe durch Abgase. Solch ein systematischer Regler lässt sich mit Hilfe der Mathematik und ihrer Algorithmen aufbauen.

Es ist einerseits wichtig, dass der Regler mit verlässlicher Information versorgt wird, andererseits, dass er die Information in einer Form bekommt, welche er versteht.

Wie es sich nun zeigt, kann ein Regelalgorithmus bzw. ein Steueralgorithmus auf dem Erscheinen von Detektorimpulsen nur schwerlich aufgebaut werden, sondern viel eher auf Informationen über die Anzahl Fahrzeuge und ihre Geschwindigkeiten und Positionen in den Zufahrten zur Kreuzung: erst wenn ein Regler diese Grössen kennt, kann er den Verkehr in optimaler Weise leiten. Zu diesem Zweck wurde die erfindungsgemässe Ausführung der Vorrichtung gemäss Fig. 2 realisiert.

In dieser Vorrichtung ist ein Beobachter 5 vorgesehen, der die Detektorsignale DS verarbeitet und dem Regler 3 (oder einer Steuerung) detailliertere Informationen in der Form von Beobachter-Angaben BA weiterleitet. Beim Beobachter handelt es sich um eine Rechner- bzw. Programmeinheit, die logisch und/oder physikalisch zwischen die Detektoren 4 und den Regler 3 geschaltet wird. Die Aufgabe des Beobachters 5 liegt darin, ein Modell des Verkehrs zu entwerfen. Bei der Bildung und Nachführung des Modells stützt sich der Beobachter auf die laufend eingehenden Detektorsignale, frühere Detektorsignale und die Stellungen der Ampeln. Ferner stützt er sich auf Erfahrungen aus vergangenen Messungen bzw. Simulationen, aus denen er insbesondere typische Geschwindigkeiten und Verhaltensnormen der Fahrzeuge ermittelt. Das Modell, das aus diesen Werten erzeugt wird, simuliert laufend die Positionen und Geschwindigkeiten der einzelnen Fahr-

zeuge im Bereich der Kreuzung bzw. Strecke. Die aus dem Modell ermittelten Werte, insbesondere z.B. die Positionen und Geschwindigkeiten, aber gegebenenfalls auch daraus abgeleitete Angaben, wie z.B. eine Kolonnenlänge vor einer Ampel, werden sodann dem Regler 3 übergeben, der sie zur Berechnung der Ampeln an der Kreuzung verwendet.

Somit werden also, im Gegensatz zur konventionellen Ausführung nach Fig. 1, in der erfindungsgemässen Vorrichtung nach Fig. 2 dem Regler 3 wesentlich aussagekräftigere Eingangssignale zur Verfügung gestellt, die eine genauere und effizientere Verkehrsregelung ermöglichen. Es wird nicht nur die Anwesenheit eines Fahrzeuges in einem Streckenabschnitt festgestellt, sondern dessen Ort und Bewegung.

Die Funktionsweise des Beobachters 4 soll nun im folgenden anhand eines einfachen Beispiels genauer erläutert werden. Die diesem Beispiel zugrunde liegende Situation ist in Fig. 3 illustriert. Es handelt sich um eine Einbahnstrasse 8 (mit Verkehr in der Figur von links nach rechts), mit einer einfachen Einfahrt 9 bei einer Kreuzung 1. An der Kreuzung ist eine zu regelnde Ampel 2 angeordnet. Vor der Kreuzung befinden sich entlang der Strasse 8 drei Detektoren 4a, 4b, 4c bei den Positionen xa, xb und xc. Die letzte Position xc liegt auf bzw. nach dem Haltebalken der Ampel 2.

In einer einfachsten Ausführung führt nun der Beobachter 5 eine Liste der Fahrzeuge nach, die "Fahrzeugtabelle", die sich gemäss seinem Modell im Bereich der Strasse 8 zwischen den Positionen xa und xc befinden. In dieser Tabelle ist zu jedem simulierten Fahrzeug eine Geschwindigkeit und eine Position eingetragen. Ferner enthält die Tabelle weitere Informationen, z.B. ob ein bestimmtes Fahrzeug von einem Detektor bereits detektiert wurde. In einer anderen Ausführung, die weiter unten beschrieben wird, unterhält der Beobachter mehrere Fahrzeugtabellen für einzelne Teilbereiche der Strecke.

Meldet der Detektor 4a ein Fahrzeug, so läuft im Beobachter der Schritt 20 nach Fig. 4 ab. Aufgrund des Signals von Detektor 4a nimmt der Beobachter an, dass ein neues Fahrzeug in den simulierten Bereich eingetreten ist. Er fügt deshalb zur Fahrzeugtabelle ein neues Fahrzeug hinzu, welches anfänglich die Position  $x = x_a$  und die Geschwindigkeit  $v = v_0$  besitzt. Die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  ist ein Erfahrungswert, der, wie weiter unten beschrieben, aus früheren Messungen bzw. Simulationen gewonnen werden oder fest vorgegeben sein kann.

Meldet der Detektor 4b ein Fahrzeug, so prüft der Beobachter 5 in Schritt 22 von Fig. 5 zuerst, ob in der Fahrzeugtabelle ein Fahrzeug eingetragen ist, welches sich momentan in einer Umgebung Eb bis Ab (vgl. Fig. 3) von Detektor 4b befinden sollte aber vom Detektor 4b noch nicht detektiert worden ist. Die Verwendung eines Toleranz-Bereichs Eb bis Ab trägt dem Umstand Rechnung, dass die vom Beobachter 5 angenommenen Geschwindigkeiten und die daraus errechneten Positio-

nen in der Regel nicht exakt der Wirklichkeit entsprechen.

Wird ein noch nicht detektiertes Fahrzeug im Bereich Eb bis Ab gefunden, so weiss der Beobachter 5, dass es sich jetzt genau bei Punkt xb befindet und korrigiert dessen Position entsprechend. Ausserdem führt er, je nach verwendetem Modell, auch dessen Geschwindigkeit nach, z.B. indem er eine neue Geschwindigkeit errechnet, welche eine Funktion der Zeit dt ist, die das Fahrzeug vom Detektor xa bis zum Detektor xb benötigt hat (Schritt 24).

Aus der Zeit dt kann der Beobachter auch ermitteln, mit welcher durchschnittlichen Geschwindigkeit das Fahrzeug sich zwischen den Positionen xa und xb bewegt hat. Diese Durchschnittsgeschwindigkeit wird für jedes Fahrzeug ermittelt und verwendet, um einen typischen Wert für die Anfangsgeschwindigkeit v0 bei Position xa zu errechnen.

Findet der Beobachter 5 nach einem Signal von Detektor 4b in der Fahrzeugtabelle kein geeignetes Fahrzeug, so nimmt er an, dass sich das Fahrzeug zwischen Position xa und xb neu in den Verkehr eingefügt hat. Entsprechend fügt er ein neues Fahrzeug in die Fahrzeugtabelle ein, mit einer Anfangsposition xb und einer Anfangsgeschwindigkeit v1 (Schritt 26). Die Anfangsgeschwindigkeit v1 kann wiederum ein aus früheren Messungen ermittelter Wert oder eine vorgegebene Grösse sein.

Fig. 6 zeigt schliesslich den Ablauf bei einem Signal von Detektor 4c. Hier wird, ähnlich wie in Fig. 5, zuerst in Schritt 28 geprüft, ob ein Fahrzeug in der Fahrzeugtabelle aufgeführt ist, welches von Detektor 4c noch nicht detektiert wurde und sich in einem Bereich Ec bis xc befindet. In diesem Falle wird ein asymmetrischer Toleranz-Bereich gewählt, da die "Simulationsstrecke" des Beobachters nur bis xc reicht.

Wird ein solches Fahrzeug gefunden (Schritt 30), so weiss der Beobachter, dass dieses Fahrzeug nun den Haltebalken überfahren und somit die Simulationsstrecke verlassen hat. Entsprechend wird das Fahrzeug aus der Fahrzeugtabelle entfernt.

Findet der Beobachter in Schritt 28 kein geeignetes Fahrzeug, so ignoriert er das Signal vom Detektor 4c, oder er erzeugt ein neues Fahrzeug, welches jedoch kurz darauf wieder gelöscht wird, da es den simulierten Bereich verlässt.

Auf diese Weise ist es dem Beobachter möglich, aufgrund der Detektorsignale ein Modell zu erstellen und nachzuführen, welches die einzelnen Fahrzeuge im Bereich xa bis xc simuliert. Die Detektorsignale werden verwendet, um einzelne Fahrzeuge zu erzeugen, zu löschen, oder deren Daten zu korrigieren.

Zusätzlich zu den in den Figuren 4 bis 6 gezeigten Synchronisationsschritten führt der Beobachter 5 die Werte in der Fahrzeugtabelle nach, indem er in Simulationsschritten die Fahrzeugpositionen aufgrund der Fahrzeuggeschwindigkeiten und weiterer Parameter dauernd neu errechnet. Dabei werden die Geschwin-

digkeiten entsprechend wirklicher oder simulierter Informationen nachgeführt.

Befindet sich zum Beispiel ein simuliertes Fahrzeug kurz vor der Ampel 2, so prüft der Beobachter, ob die Ampel 2 auf rot steht. Wenn ja, so reduziert er dessen Geschwindigkeit oder setzt sie auf Null. Stellt der Beobachter aufgrund der in der Fahrzeugtabelle gespeicherten Daten fest, dass sich vor der Ampel 2 eine Kolonne gebildet hat, so ermittelt er deren Ende. Nähert sich ein simuliertes Fahrzeug diesem Ende, so setzt er dessen Geschwindigkeit zurück.

Stellt der Beobachter fest, dass ein simuliertes Fahrzeug die Position Ab überschreitet, ohne dass es vom Detektor 4b erfasst wurde, so nimmt er an, dass das Fahrzeug aus dem Verkehr ausgeschieden ist (z.B. geparkt wurde), und löscht es aus der Fahrzeugtabelle. In einer anderen Ausführung kann er das Fahrzeug weiter im Modell behalten und z.B. erst ausscheiden, wenn es auch von einem nächsten Detektor nicht detektiert wird.

Im soweit beschriebenen, einfachen Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 werden nur die auf der Strasse 8 fahrenden Fahrzeuge simuliert. In einer normalen Anlage würden jedoch vorzugsweise auch die Fahrzeuge in der Zufahrtsstrasse 9 mit Detektoren erfasst und simuliert.

In einem verbesserten Modell können ausserdem verschiedene Fahrzeugtypen unterschieden werden. So kann z.B. ein weiterer Detektor 4d bei Position xa angeordnet werden, der öffentliche Verkehrsmittel (oder einen anderen, speziellen Fahrzeugtyp, wie z.B. Lastwagen, Zweiräder, etc.) detektiert. In der Fahrzeugtabelle ist sodann zusätzlich der Typ jedes Fahrzeugs aufgeführt. Dadurch können zusätzliche Informationen für den Regler 3 bereitgestellt werden. Der Fahrzeugtyp kann auch für eine individuellere Simulation der Bewegungen beigezogen werden.

Die Zahl und Position der Detektoren wird den jeweiligen Umständen angepasst. Je mehr Detektoren vorhanden sind, um so grösser ist die Menge messbarer Information, und um so genauer kann der Zustand des Systems modelliert werden. Ebenfalls mit der Zunahme der Messstellen wird der Beobachter toleranter gegenüber fehlerhaften Messungen.

Wird eine mehrspurige Strasse simuliert und liegen die Detektoren nebeneinander in verschiedenen Spuren, so kann ein Spurwechsel oder ein ungenaues Befahren zweier Detektoren durch dasselbe Fahrzeug erkannt werden.

Die Synchronisation der simulierten Fahrzeuge mittels der Detektorsignale ermöglicht es, die Fahrzeuge einzeln durch das System zu verfolgen und auch ihre Geschwindigkeiten zu ermitteln. Die ermittelte Geschwindigkeit dient dem Beobachter dazu, den Schätzwert der Geschwindigkeit von Fahrzeugen anzupassen, welche zum ersten Mal zur Kenntnis genommen werden (bei der Erzeugung von Fahrzeugen im Beobachter).

Dadurch, dass jedes Fahrzeug mit Position und Geschwindigkeit durch das gesamte System verfolgt werden kann, ist auch eine nachträgliche Auswertung von Parametern möglich, die durch die Detektoren direkt nicht messbar sind (so die Durchschnittsgeschwindigkeit oder die Schlängellänge in einer bestimmten Zufahrt zur Kreuzung).

Zusammenfassend führt der Beobachter also sowohl Simulations- als auch Synchronisationsschritte durch. In den Simulationsschritten verwendet der Beobachter die in der Fahrzeugtabelle abgespeicherten Daten, sowie Informationen über den momentanen Zustand der Strasse bzw. Kreuzung (z.B. den Ampelzustand), um die Bewegungen der Fahrzeuge seines Modells zu berechnen. In den Synchronisationsschritten (wie sie z.B. in den Figuren 4 - 6 und 9 - 12, siehe unten, gezeigt sind) führt der Beobachter sein Modell aufgrund der Signale der Detektoren nach bzw. korrigiert es.

Aufgrund der Daten, die in der Fahrzeugtabelle gespeichert sind, kann der Beobachter nun jederzeit detaillierte Angaben über das Verkehrsgeschehen vor der Ampel 2 machen und diese dem Regler 3 übermitteln. Die Art der Beobachter-Angaben BA, die der Beobachter 5 dem Regler 3 übermittelt, kann an den im Regler 3 verwendeten Algorithmus angepasst werden. Typische Beobachter-Angaben, die an den Regler geliefert werden, sind z.B.:

- Die Zahl der Fahrzeuge, die voraussichtlich in einem nächsten Zeitintervall bei der Ampel 2 eintreffen werden;
- Die Länge einer allfälligen Kolonne vor der Ampel 2;
- Die Anwesenheit, baldige Ankunft oder der geschätzte Ankunftszeitpunkt eines öffentlichen Verkehrsmittels im Bereich kurz vor der Ampel.
- Die Position und Geschwindigkeit jedes Fahrzeugs.
- Die Beschleunigung jedes Fahrzeugs.
- Die voraussichtliche Route eines Fahrzeugs bei Verzweigungen.
- Die Feststellung eines ungewöhnlichen Zustands, z.B. bei einem Unfall.

Je nach Regleralgorithmus können alle oder nur ein Teil dieser (oder weiterer) Informationen an den Regler gesendet werden. Zusätzlich ist der Beobachter so ausgelegt, dass er, falls die Simulation versagt oder an Aussagekraft verliert, anstelle der effektiven Werte Erfahrungswerte zum Verkehrsfluss an den Regler weitergibt. Dies kann z.B. bei einem grossräumigen Stau, der sich über den Bereich aller Detektoren erstreckt, der Fall sein.

Im vorliegenden Beispiel nach Fig. 3 wurde eine recht einfache Anordnung mit nur einer Einbahnstrasse diskutiert. Die Erfindung kann jedoch auch in wesentlich komplexeren Anordnungen eingesetzt werden, die eine Vielzahl von Ampeln, Kreuzungen, Ein- und Ausfahrten,

Fahrbahnen, etc. aufweisen, wobei auch kompliziertere Anordnungen hier als "Strecke" bezeichnet werden sollen. Um solche komplexen Strecken zu überwachen, muss die Zahl der Detektoren erhöht werden. Da sowohl die Simulation als auch die Synchronisation jedoch in einem lokalen Rahmen durchgeführt werden, können auch in solchen Modellen im wesentlichen weiterhin die beschriebenen einfachen Simulations- und Synchronisationsschritte verwendet werden.

Die Programmierung von Beobachtern für komplexere Systeme wird mit konventionellen Methoden ziemlich aufwendig. Es wurde deshalb ein Verfahren entwickelt, mit welchem ein Beobachter in einfacher Weise definiert, d.h. hergestellt, werden kann. Dieses Verfahren wird im folgenden beschrieben.

Das Verfahren beruht darauf, die Strassen, Kreuzungen, sowie z.B. die Positionen der Detektoren, der Signalwege und die gewünschte Synchronisation, d.h. die Strecke graphisch darzustellen.

Ein Beispiel für eine solche Darstellung der Strasse 8 (ohne die Einfahrt 9) gemäss Fig. 3 wird in Fig. 7 gezeigt. Die Darstellung umfasst drei Bereiche: eine Simulationsebene 40, eine Synchronisationsebene 42 und eine Detektorebene 44.

Die Simulationsebene 40 definiert die geometrische Struktur der Strecke und die Position der daran angeordneten Detektoren, Ampeln, etc. Die Strasse 8 selbst wird durch eine durchgezogene, gerichtete Linie dargestellt. Die Punkte 4a, 4b und 4c entsprechen den Positionen der Detektoren 4a - 4c und sind massstabgetreu entlang der Strasse angeordnet. Die Punkte Eb, Ab und Ec begrenzen die Toleranzbereiche der Detektoren.

Im vorliegenden Beispiel ist die geometrische Struktur der Strecke sehr einfach. Da die Kreuzung selbst nicht vom Modell erfasst wird, besteht die Darstellung aus einer einzigen Verkehrsspur, welche von einer Linie mit Richtungsangabe repräsentiert wird. Für komplexere Systeme ist die geometrische Struktur komplizierter und enthält Informationen über alle Verkehrsspur, die Richtungen des auf den Spuren laufenden Verkehrs, die Länge der Spuren, die Kreuzungen und die Möglichkeiten zu einem Spurwechsel, die Position der Ampeln (Verkehrsleitsignale), die Orte und Toleranzbereiche der Detektoren. Sie kann auch noch zusätzliche Informationen enthalten, wie z.B. allfällige Geschwindigkeitsbeschränkungen auf den einzelnen Spuren bzw. Strassen.

Die Synchronisationsebene 42 von Fig. 7 definiert die Synchronisationsschritte, die der Beobachter durchführen kann. Diese Ebene enthält Synchronisationssymbole 46a, 46b, 46c. Wie in Fig. 8 dargestellt ist, besitzt jedes Symbol vier Eingänge 50 - 53 für Parameter aus dem Bereich 40 und einen Signaleingang 54. Deren Funktion wird weiter unten erklärt.

Die Detektorebene 44 von Fig. 7 definiert schliesslich die Detektoren 4a - 4c.

Ausgehend von der in Fig. 7 gezeigten Darstellung

wird das Programm des Beobachters erzeugt. Dieses Programm kann gemäss den in Fig. 4 - 6 gezeigten Algorithmen arbeiten. Im folgenden wird jedoch ein verbessertes Beobachtungsverfahren beschrieben, welches in folgender Weise erzeugt wird:

Die Informationen der Simulationsebene 40 werden verwendet, um die Simulationsschritte zu definieren. Die Simulationsschritte erstrecken sich dabei jeweils nur über einen einzelnen Abschnitt zwischen zwei Symbolen (Knoten) der durchgezogenen Linie der Simulationsebene 40. Hierzu erstellt der Beobachter eine Fahrzeugliste für jeden Abschnitt. Tritt ein Fahrzeug in einen Abschnitt ein, so wird es (mit Position und Geschwindigkeit und gegebenenfalls Fahrverhalten) in die jeweilige Fahrzeugliste eingetragen. Verlässt das Fahrzeug den Abschnitt, so wird es aus der Liste gelöscht. Eintritt und Löschung (sowie gegebenenfalls weitere Ereignisse) erzeugen Signale bzw. Meldungen, welche über die gestrichelten Linien an die Synchronisationsebene 42 weitergegeben werden.

Die Informationen der Synchronisationsebene 42 werden verwendet, um die Synchronisationsschritte zu definieren. Auch diese erstrecken sich jeweils nur über einen lokalen Teilbereich der Strecke, der durch das jeweilige Synchronisationssymbol 46a, 46b, 46c definiert ist. Die Synchronisationsschritte werden im folgenden anhand der Figuren 9 - 12 kurz erläutert.

Empfängt der Beobachter ein Detektorsignal auf einem Detektoreingang 54, so wird, wie in Fig. 9 dargestellt, in Schritt 60 eine Meldung über Ausgang 52 abgegeben. Diese Meldung erzeugt sodann im Simulator eine Eintragung eines Fahrzeugs in die Fahrzeugliste des entsprechenden Streckenabschnitts. Dabei prüft der Simulator, ob das Fahrzeug einem bereits simulierten Fahrzeug entspricht.

Bei einer Meldung auf Anschluss 51 (z.B. wenn ein simuliertes Fahrzeug über Punkt Eb fährt) wird in der zum jeweiligen Synchronisationssymbol gehörenden Liste ein Fahrzeug eingetragen (Schritt 62, Fig. 10). Bei einer Meldung auf Anschluss 53 wird das entsprechende Fahrzeug (d.h. das vorderste der in der Liste eingetragenen Fahrzeuge) gelöscht (Schritt 64, Fig. 11).

Bei einer Meldung auf Anschluss 52 (welche ihrerseits durch den in Fig. 9 gezeigten Ablauf ausgelöst wird) wird in der Liste des jeweiligen Synchronisationsymbols das entsprechende Fahrzeug ermittelt und dessen Position auf den jeweils mit Anschluss 52 verbundenen Punkt gesetzt. Ferner wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt, und zwar aus den Zeiten, zu denen das Fahrzeug an dem Punkt war, der mit Anschluss 50 verbunden ist, und an dem Punkt, der mit dem Anschluss 52 verbunden ist, sowie aus dem Abstand der beiden Punkte. Hierzu wird global für jedes Fahrzeug eine Liste der Zeiten angelegt, zu welchen es an den im Bereich 40 dargestellten Punkten ankam. Ist Anschluss 53 nicht mit der Simulationsebene verbunden, wird das Fahrzeug bereits hier aus der Liste

gelöscht.

Bei einer Meldung auf Anschluss 50 wird dem Fahrzeug eine Geschwindigkeit aufgeprägt, die auf Erfahrungswerten basiert. (Gemessene Fahrzeit zwischen Anschluss 50 und 52 für frühere Fahrzeuge.)

Die Abläufe nach Fig. 9 - 12 sind vereinfacht dargestellt. In einer praktischen Implementierung enthalten sie z.B. zusätzliche Prüfschritte, wie sie auch in den Figuren 4 bis 6 dargestellt sind, um festzustellen, ob ein Fahrzeug aus dem Verkehr ausgeschieden oder neu in diesen eingetreten ist.

Die Definition des Beobachters 5 mittels einer Darstellung gemäss Fig. 7 kann an einem Computer geschehen. Dieser Computer umfasst im wesentlichen folgende Teile oder Programme bzw. Programmteile:

- einen Eingabeteil, der es erlaubt, eine Darstellung gemäss Fig. 7 in graphischer Weise einzugeben; und
- einen Kompilierungsteil, der die in der Darstellung gemäss Fig. 7 enthaltenen Informationen in algorithmische Anweisungen oder in Parameter umwandelt, welche sodann im Betrieb vom Beobachter 5 zur Berechnung des Modells ausgeführt bzw. berücksichtigt werden.

In einer möglichen Ausführung arbeitet der Kompilierungsteil nicht als Compiler im klassischen Sinn sondern als Interpreter, d.h. er übersetzt die in Fig. 7 gezeigte Darstellung während des Betriebs des Beobachters.

Die vom Kompilierungsteil erzeugten Anweisungen werden im Beobachter 5 abgespeichert. Sie definieren die Synchronisations- und Simulationsschritte, die von diesem durchgeführt werden.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind der Beobachter 5 und der Regler 3 als getrennte Rechner ausgeführt, auf denen geeignete Programme laufen. Es ist auch denkbar, den Regler und den Beobachter als zwei getrennte Programme auf einem Rechner oder als Teile eines einzelnen Programms zu implementieren.

Die Programmierung des Reglers 3 kann auch über eine graphische Oberfläche erfolgen, die als Ergänzung zur Definition nach Fig. 7 implementiert ist.

Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel der Erfindung wurde der Verkehr über Ampeln geleitet. Das erfindungsgemässe Konzept kann jedoch auch angewandt werden, wenn anstelle der oder zusätzlich zu den Ampeln andere vom Regler betätigbare Verkehrsleitsignale verwendet werden, wie z.B. verstellbare Geschwindigkeitslimiten, Umleitungstafeln oder Barrieren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung bzw. Steuerung des Strassenverkehrs von Fahrzeugen auf einer Strecke (8) mittels mindestens einem Verkehrsleitsignal (2),

einer Kontrolleinrichtung (3, 5) zur Kontrolle des mindestens einen Verkehrsleitsignals (2) und Detektoren (4) zur Detektion von Fahrzeugen, gekennzeichnet durch die Schritte:

Erstellung eines Modells aufgrund von Signalen (DS) der Detektoren (4), wobei im Modell Orte und Bewegungen einzelner Fahrzeuge auf der Strecke simuliert werden, und Erzeugung von Beobachter-Angaben (BA) abgeleitet aus dem Modell, und  
Verwendung der Beobachter-Angaben (BA) zur Steuerung des mindestens einen Verkehrsleitsignals (2).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Modell die Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge simuliert werden.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale (DS) der Detektoren verwendet werden, um im Modell verwendete Grössen nachzuführen, insbesondere um ein neues simuliertes Fahrzeug zu erzeugen, die Daten eines simulierten Fahrzeugs zu korrigieren oder ein simuliertes Fahrzeug zu löschen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einem Teil der Detektoren (4b, 4c) ein Toleranzbereich (Eb, Ab) zugeordnet ist, wobei bei einem Detektorsignal von einem dieser Detektoren (4b, 4c) geprüft wird, ob sich gemäss Modell ein simuliertes Fahrzeug im jeweiligen Toleranzbereich befindet, und wenn ja, die Position des simulierten Fahrzeugs im wesentlichen auf die Position des entsprechenden Detektors gesetzt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung des Modells zumindest folgende Parameter zur Verfügung gestellt werden: die geometrische Struktur der Strecke (9), die Anordnung der Detektoren (4) an der Strecke, die Anordnung der Verkehrsleitsignale (2).

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter mindestens teilweise als graphische Darstellung kodiert werden und dass die graphische Darstellung umgewandelt wird in Anweisungen zur Berechnung des Modells.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Strecke (9) als eine oder mehrere gerichtete Linien dargestellt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4 und einem der Ansprü-

che 5 bis 7 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einem Teil der Detektoren (4a, 4b, 4c) ein Synchronisationssymbol (46a, 46b, 46c) zugeordnet wird, welchem Punkte (Eb, Ab) auf der Strecke zur Festlegung des Toleranzbereichs zugeordnet werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachter-Angaben (BA) eine oder mehrere der folgenden Daten umfassen: die Position von simulierten Fahrzeugen, die Geschwindigkeit von simulierten Fahrzeugen, ein erwartetes Fahrverhalten mindestens eines Teils der simulierten Fahrzeuge.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der Detektorsignale typische Werte einzelner Grössen, insbesondere Anfangsparameter für die Bewegung der Fahrzeuge, ermittelt werden, welche insbesondere zur Simulation der Bewegung eines neu in der Simulation auftretenden Fahrzeugs verwendet werden, wobei diese Grössen vorzugsweise dauernd nachgeführt werden.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Modell zwischen mindestens zwei verschiedenen Fahrzeugtypen unterschieden wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung und Nachführung des Modells folgende Schritte umfasst:

Erstellung mindestens einer Fahrzeugliste der simulierten Fahrzeuge aufgrund der Signale (DS) der Detektoren, wobei zu jedem Fahrzeug, welches sich in der Strecke oder einem Teilbereich der Strecke befindet, ein Ort und eine Geschwindigkeit abgespeichert werden, Nachführung des Orts jedes Fahrzeugs aufgrund seiner Geschwindigkeit, Korrektur des Orts von Fahrzeugen aufgrund der Signale (DS) der Detektoren (4).

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Fahrzeug eine Beschleunigung abgespeichert und nachgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Nachführung des Modells der Zustand bzw. die Zustände des mindestens einen Verkehrsleitsignals (2) berücksichtigt werden.

15. Vorrichtung zur Regelung des Strassenverkehrs von Fahrzeugen auf einer Strecke (8) umfassend

mindestens ein Verkehrsleitsignal (2), eine Kontrolleinrichtung (3, 5) zur Kontrolle des mindestens einen Verkehrsleitsignals (2) und Detektoren (4) zur Detektion von Fahrzeugen, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontrolleinrichtung einen Beobachter-Teil (5) und einen Regler-Teil (3) umfasst, 5

wobei der Beobachter-Teil (5) aufgrund von Signalen (DS) der Detektoren (4) ein Modell erstellt, wobei im Modell die Orte und Bewegungen einzelner Fahrzeuge auf der Strecke simuliert werden, und aus dem Modell Beobachter-Angaben (BA) ableitet, und 10  
wobei der Regler-Teil (3) aufgrund der Beobachter-Angaben (BA) den Verkehr auf der Strecke regelt bzw. steuert. 15

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Beobachter-Teil (5) einen Speicher mit mindestens einer Fahrzeugliste aufweist, wobei zu jedem simulierten Fahrzeug Position und Geschwindigkeit und vorzugsweise eine Beschleunigung abgespeichert ist. 20

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem simulierten Fahrzeug ein Fahrzeugtyp abgespeichert ist, und dass mindestens ein Teil (4d) der Detektoren (4) ein Fahrzeugtyp-abhängiges Signal liefert. 25

30

35

40

45

50

55



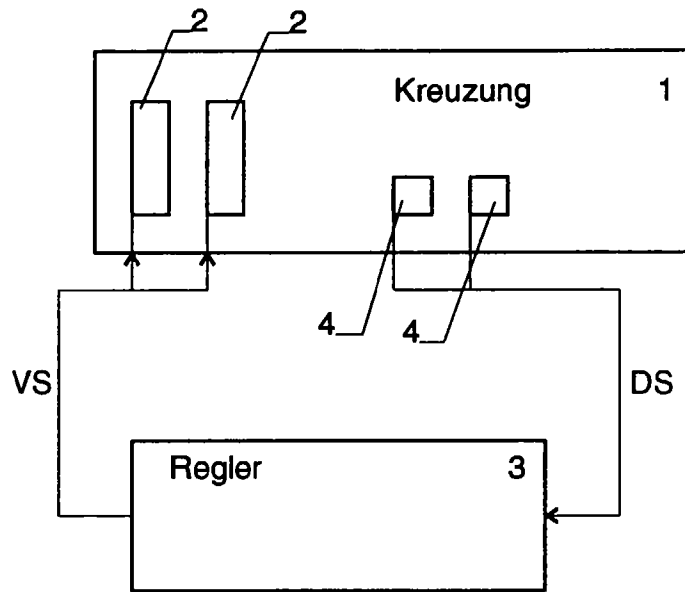


Fig. 1

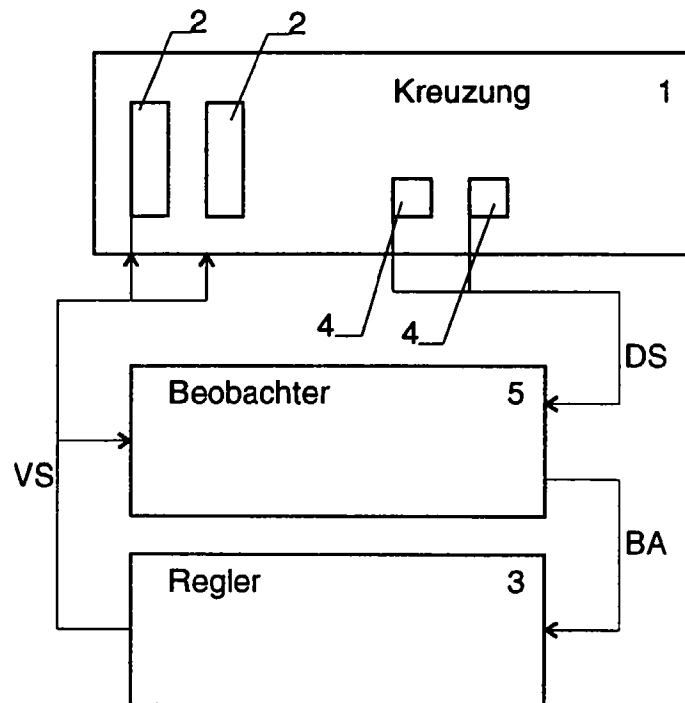


Fig. 2

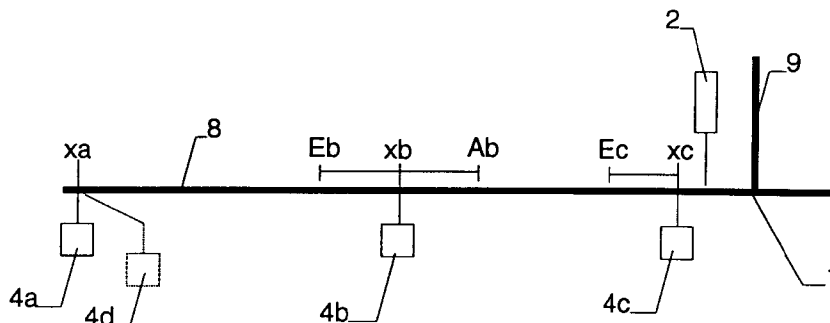


Fig. 3

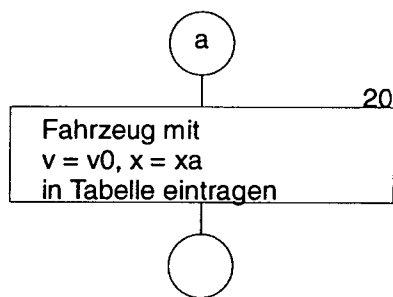


Fig. 4

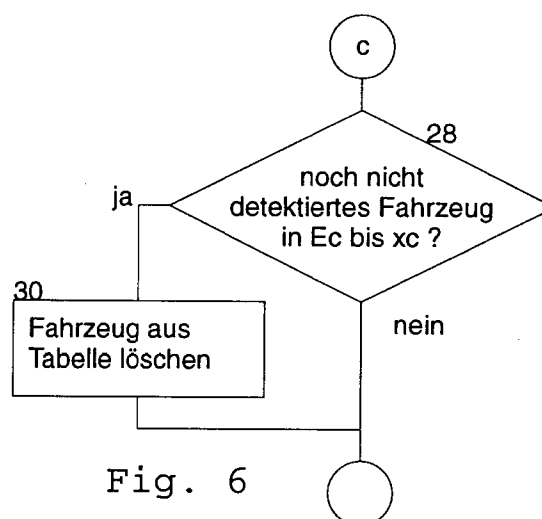


Fig. 6

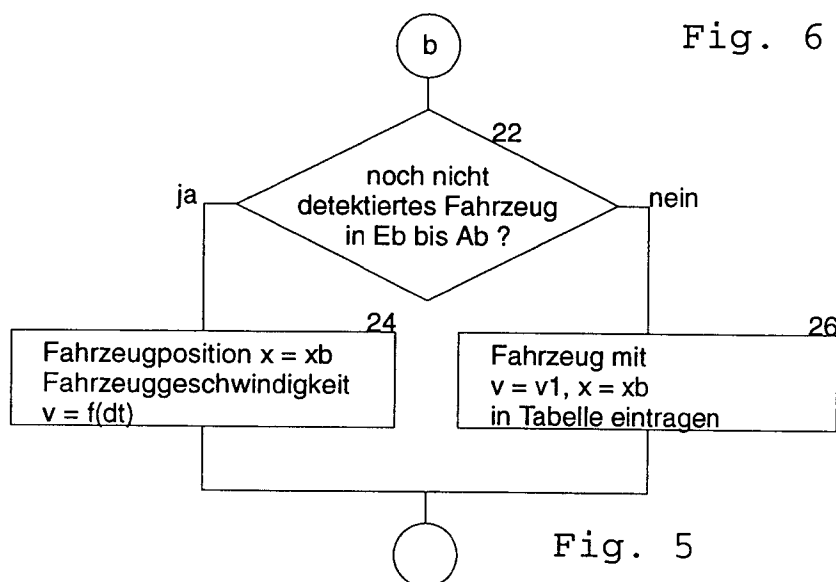


Fig. 5

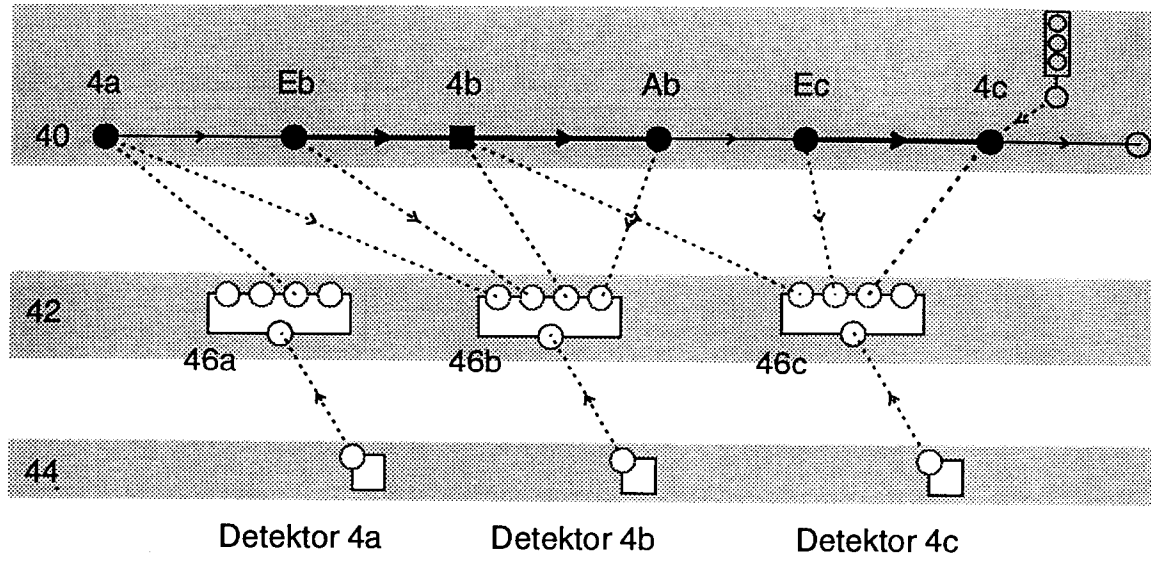


Fig. 7

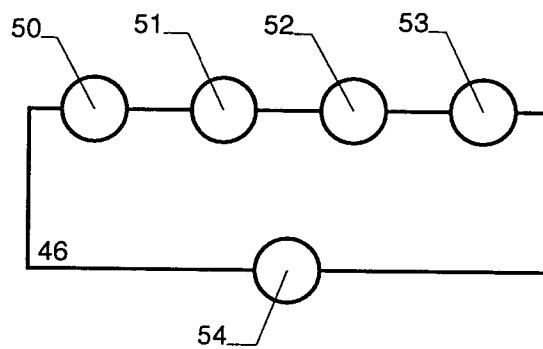


Fig. 8

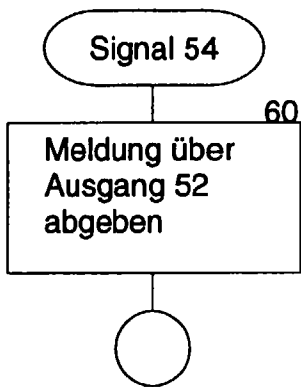


Fig. 9

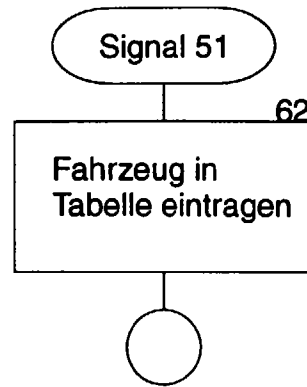


Fig. 10

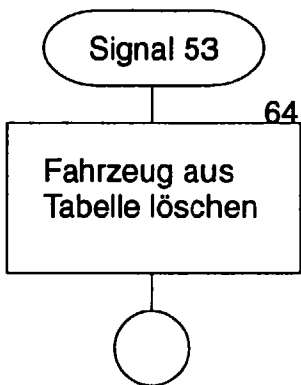


Fig. 11

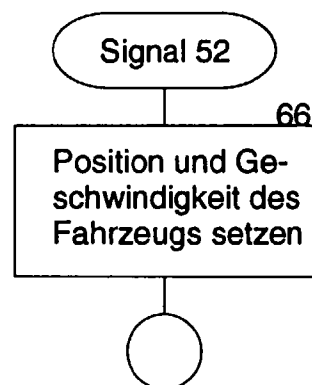


Fig. 12



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 96 11 1984

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                         |                                                |                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                     | Betrifft Anspruch                              | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6) |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | EP-A-0 476 562 (HITACHI LTD)<br>* Spalte 2, Zeile 37 - Zeile 54 *<br>* Spalte 3, Zeile 9 - Spalte 4, Zeile 43 *<br>* Spalte 6, Zeile 25 - Spalte 12, Zeile 35; Abbildungen 1-6 *<br>--- | 1-3,5,15                                       | G08G1/08                                |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | FR-A-2 351 453 (THOMSON-CSF)<br>* Ansprüche *<br>---                                                                                                                                    | 1,11,15,17                                     |                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | FR-A-2 711 000 (GARBARINI)<br>---                                                                                                                                                       |                                                |                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | US-A-4 370 718 (CHASEK)<br>-----                                                                                                                                                        |                                                |                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                         |                                                | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                         |                                                | G08G<br>G06F                            |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                         |                                                |                                         |
| Recherchenamt<br>DEN HAAG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                         | Abschlußdatum der Recherche<br>13. Januar 1997 | Prüfer<br>Reekmans, M                   |
| <b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b><br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>F : Zwischenliteratur<br>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                                                                                                                                                         |                                                |                                         |

EPO FORM 1503 01.92 (P4403)