



(11)

**EP 1 298 620 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**18.07.2007 Patentblatt 2007/29**

(51) Int Cl.:  
**G08G 1/095<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **02020174.5**

(22) Anmeldetag: **09.09.2002**

### (54) **System zum Steuern von Lichtsignalgebern an Kreuzungen**

Controlsystem for lightsignal devices at intersections

Système de commande pour dispositif lumineux de signalisation d'un carrefour

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE GB IT LI NL**

(30) Priorität: **20.09.2001 DE 10146398**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.04.2003 Patentblatt 2003/14**

(73) Patentinhaber: **SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **Mathias, Paul, Dr.  
52072 Aachen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**US-A- 5 257 194 US-A- 5 646 853**  
**US-A- 5 778 332 US-A1- 2002 116 118**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 2000, no. 22, 9. März 2001 (2001-03-09) -& JP 2001 134893 A (SUMITOMO ELECTRIC IND LTD), 18. Mai 2001 (2001-05-18)

**EP 1 298 620 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Steuern von Lichtsignalgebern an einem Knotenpunkt nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie ein Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 5.

**[0002]** Der Verkehr auf Kreuzungen von Straßen, sogenannten Knotenpunkten, wird heute hauptsächlich durch Lichtsignalanlagen geregelt. Eine Lichtsignalanlage besteht aus einer Kombination von Lichtsignalgebern für die verschiedenen Zufahrten zum Knotenpunkt und den erforderlichen Betriebseinrichtungen zur Steuerung des Verkehrsablaufs. Ein Lichtsignalgeber in diesem Sinne ist ein Fernmeldegerät, das den Verkehrsteilnehmern sichtbare Signale übermittelt. In einem lokalen Steuergerät der Kreuzung läuft ein Signalprogramm ab, in dem die Signalzeiten der Lichtsignalanlage bezüglich Dauer und Zuordnung festgelegt sind. Hier unterscheidet man im wesentlichen festzeitgesteuerte und verkehrsabhängige Verfahren zum Steuern der Signalgeber an einem Knotenpunkt.

**[0003]** Bei der Festzeit-Signalsteuerung handelt es sich um eine Lichtsignalsteuerung mit festgelegten Signalzeiten ohne Einwirkungsmöglichkeit für den Verkehrsteilnehmer. Diese makroskopische Signalsteuerung basiert auf einer langfristigen Berücksichtigung des Verkehrszustandes am Knotenpunkt. Das Verfahren verwendet auf fixen Zeittabellen arbeitende Signalprogramme mit einer starren Tages- oder Wochenautomatik. Beim festzeitgesteuerten Einzelknoten sind die Schaltzeitpunkte zum Wechseln von Signalprogrammen also beispielsweise für den jeweiligen Wochentag eingestellt. Das Verfahren ist an sich einfach, es sind keine Detektoren zur laufenden Erfassung des Verkehrszustandes am Knoten notwendig. Festzeitgesteuerte Verfahren sind aufgrund ihres mittleren Planungsaufwands zwar relativ kostengünstig, sind aber weder kurz- noch langfristig flexibel bezüglich einer Veränderung der Verkehrsverhältnisse am Knotenpunkt, so dass immer wieder Nachplanungen erforderlich sind.

**[0004]** Demgegenüber stehen die verkehrsabhängigen Verfahren, bei welchen die Signalsteuerung mikroskopisch, also unter kurzfristiger Berücksichtigung des Verkehrszustandes am Knotenpunkt erfolgt. Während beim teilverkehrsabhängigen Verfahren die Lichtsignalanlage nach in einem Signalplan festgelegten Zeiten mit Umschaltung der Grün- bzw. Freigabezeiten einzelner weniger Signalgruppen abhängig von einzelnen eintreffenden Verkehrsteilnehmern gesteuert wird, erfolgt beim vollverkehrsabhängigen Verfahren die Einstellung aller Freigabezeiten an einer Lichtsignalanlage eines Knotenpunkts aufgrund von Messungen einzelner eintreffender Verkehrsteilnehmer. Diese komplexen Verfahren, wie z.B. die Phasensteuerung mit dezentraler Modifikation, Rahmenphasenpläne oder Flussdiagramme, erfordern eine aufwendige automatische Erfassung von Verkehrszuständen oder Zustandsänderungen mit oft mehreren

Detektoren, wie z.B. Induktionsschleifen, Infrarotsensoren oder Radardetektoren, pro Kreuzungszufahrt. Dadurch sind diese Steuerverfahren kurzfristig sehr flexibel, weisen langfristig allerdings nur eine mittlere Flexibilität auf, so dass Nachplanungen erforderlich werden. Insgesamt sind verkehrsabhängige Verfahren kostenintensiv und bringen einen großen Planungsaufwand mit sich.

**[0005]** Aus der DE 44 36 339 A1 ist ein Verfahren zur verkehrsadaptiven Steuerung einer Verkehrsampelanlage bekannt, die von Sensoren zur Verkehrserfassung im Kreuzungsbereich gelieferte Daten verarbeitet. Das Verfahren verwendet außer zur Verkehrssicherheit nötige Prinzipien keine vorgefertigten Modelle oder Algorithmen, sondern es erlernt die günstigsten Methoden zur Verkehrsstromregelung aller für die Kreuzung typischen Verkehrssituationen, speichert diese und wendet sie an, um somit in Abhängigkeit von zeitlichen Schwankungen des Verkehrsaufkommens die Grünphasen dem Verkehrsstrom anzupassen.

**[0006]** Zum Steuern wird ein sogenanntes Feed-Forward-Netz gewählt, das mittels Reinforcement-Learning trainiert wird. Die aus den Sensor-Messdaten gewonnenen Signale werden dabei an die Netzeingänge gelegt, so dass sie während eines Entscheidungszyklus, in dem jedes Neuron des Netzes seinen Ausgangswert aus seinem mit Synapsen versehenen Eingängen ermittelt, an den Netzausgängen in verarbeiteter Form zur Ansteuerung der Signalgruppen zur Verfügung stehen. Der sich aus den auf diese Weise geschalteten Signalgruppen ergebende Verkehrsstrom wird bewertet, in dem eine reelle Zahl berechnet wird, die umso größer ist, je mehr Fahrzeuge die Kreuzung passieren und je weniger Fahrzeuge an der Haltelinie warten. Während eines Lernzyklus wird dann diese reelle Zahl in geeignete Änderungen der Gewichte in den Synapsen umgesetzt, so dass sich nach vielen Abfolgen von Entscheidungs- und Lernzyklen die reelle Zahl auf einen größtmöglichen Wert einstellt, der der günstigsten Verkehrsstromregelung entspricht. Mit der Verkomplizierung des Verkehrsknotens steigt der Zeitaufwand zum Vorabtraining des neuronalen Netzes an. Zur Erhöhung der Lerngeschwindigkeit sind außer je einem Sensor an der Haltelinie für jede Fahrbahn zusätzliche Sensoren in gewissen Abständen vor den Haltelinien erforderlich.

**[0007]** US 5,257,194 offenbart ein Verfahren zum Steuern von Lichtsignalgebern nicht nur an einem lokalen Knotenpunkt, sondern auch für ein flächendeckendes System. Mittels Detektoren werden die Verkehrsstärken in den Kreuzungszufahrten sowie die Sättigungsverkehrsstärken für jede Fahrtrichtung erfasst; außerdem werden Fußgängersignalanforderungen detektiert. Mittels linearer Programmierung werden die lokalen Signalzeitenparameter, d.h. minimale, optimale und maximale Grünzeiten und Umlaufdauern, berechnet. Schließlich werden die Lichtsignalgeber nach den berechneten Signalzeitenparametern geschaltet.

**[0008]** Aus der Patentschrift US 5,778,332 ist ein elektronisches Neuralsystem mit einer Vielzahl an unterein-

ander verbundenen Knotenpunkten bekannt, welche entlang einer Straße angeordnet und mit Sensoren gekoppelt sind. Mittels der Sensoren werden Größen wie Positionen, Geschwindigkeiten, Abstände und dergleichen von Fahrzeugen beobachtet und zu symbolischen Mustern verarbeitet, die Verkehrszustände auf der Straße repräsentieren. Die symbolischen Muster werden im Neuralsystem weitergeleitet und - durch Anwendung von beispielsweise Korellationstechniken - auf ihre Übereinstimmungsgüte verglichen. Der Korellationsgrad, d.h. die Übereinstimmungsgüte, dient als Maß oder Metrik für den Verkehrsfluss zwischen den Knotenpunkten der verglichenen symbolischen Muster, wobei ein hoher Korellationsgrad einen ungehinderten Verkehrsfluss andeutet, ein niedriger Korellationsgrad hingegen Probleme im Verkehrsfluss zwischen den Knotenpunkten. Bei Übereinstimmung der Muster nimmt die Metrik den Wert 1 an, bei normalen Verkehrsverhältnissen mit sich relativ zueinander bewegendes Fahrzeugen liegt der Wert der Metrik unter 1. Ein plötzlicher und schneller Wechsel in der Korellation ist als Warnung aufzufassen, der Wert der Metrik ist bei signifikanten Abweichungen zwischen den Mustern kleiner als 1. An die Knotenpunkte ist eine Vielzahl an Verkehrssignalen gekoppelt, die auf der Grundlage der symbolischen Muster geschaltet werden.

**[0009]** Die US 3,818,429 offenbart ein Verkehrsleitsystem, bestehend aus Steuerungsverfahren und -gerät, zum Auswählen eines bestimmten Programms für die Steuerung von Lichtsignalgebern an einer oder mehreren aufeinander folgenden Kreuzungen aus einer Vielzahl von vorab auf Lochstreifen gespeicherten Programmen. Das Steuerungsgerät des Verkehrsleitsystems ist mit Kreuzungsgeräten zur Steuerung der Lichtsignalgeber sowie mit Fahrzeugdetektoren zur Erfassung der Verkehrsbedingungen an den jeweiligen Kreuzungen verbunden. In Zyklen wird durch eine elektronische Berechnung und Analyse der aktuellen Verkehrsbedingungen das optimale Programm ausgewählt. Aus den Signalen der Fahrzeugdetektoren werden dazu gemittelte Werte verschiedener dynamischer Verkehrsparameter, wie Dichte, Geschwindigkeit und Volumen des Verkehrs, berechnet. Unterschiedliche Verkehrsaufkommen werden bestimmten vorausgewählten Bereichen der Verkehrsparameter zugeordnet und es wird bestimmt, in welchem Parameterbereich das aktuelle Verkehrsaufkommen liegt. Die Auswahl eines Programms kann durch gezielte Programmierung des Steuergeräts auch nach Tageszeit und Wochentag erfolgen. Unter einem Programm wird dabei ein Datenblock von Zeitdauern verstanden, die während eines Zyklus die Schaltzeitpunkte für die Lichtsignalgeber festlegen. Wird in einem laufenden Zyklus der aktuelle Parameterbereich verlassen, so wird im folgenden Zyklus ein neues, auf die aktuellen Verkehrsbedingungen abgestimmtes Programm aktiviert.

**[0010]** Neben den genannten Nachteilen leiden die bekannten Steuerungen unter einem erheblichen Versorgung- und Testaufwand seitens des Verkehrsplaners

bzw. Inbetriebsetzers und erfordern Nachplanungen aufgrund von oft grundlegenden Änderungen der Verkehrsverhältnisse im Laufe von Monaten oder Jahren. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein System zur lokalen Knotenpunktsteuerung bereitzustellen, welches eine größere Flexibilität bei Änderungen der Verkehrsverhältnisse als reine Festzeitsteuerungen aufweist und gleichzeitig eine hohe Leistungsfähigkeit bei minimalem Planungs- und Versorgungsaufwand sowie bei moderater Detektorausstattung zeigt.

**[0011]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 genannten Merkmalen und durch ein Steuergerät gemäß Patentanspruch 5. Indem bei einem gattungsgemäßen Verfahren aus den erfassten Verkehrszuständen für den Knotenpunkt charakteristische Verkehrszustände abgeleitet werden, jedem charakteristischen Verkehrszustand ein auf dieses abgestimmtes Signalprogramm zugeordnet wird, als Maß für die gegenseitige Lage zweier Verkehrszustände eine Metrik definiert wird, der bezüglich der definierten Metrik dem aktuellen Verkehrszustand nächstliegende charakteristische Verkehrszustand ermittelt wird, und das dem nächstliegenden charakteristischen Verkehrszustand zugeordnete Signalprogramm zum Abgeben von Schaltbefehlen für die Lichtsignalgeber ausgeführt wird, beschränkt sich der Planungs- und Versorgungsaufwand auf die Angabe von Basisdaten, wie die Knotentopologie, Hauptrichtungen, Signalgruppendefinition, Mindestgrün- und Übergangszeiten, Zwischenzeiten und Aufstelllängen, und einiger Rahmenbedingungen, wie Prioritäten und Optimierungskriterien. Mit Hilfe der automatischen Auswahl eines auf die aktuelle Verkehrssituation abgestimmten Signalprogramms kann sich das Verfahren auf einer kurzfristigen Zeitskala an wechselnde Verkehrsbedingungen anpassen. Dadurch weist das erfindungsgemäße Verfahren eine deutlich größere Flexibilität als festzeitgesteuerte Verfahren auf und zwar bei verhältnismäßig einfacher Detektion der Verkehrszustände in Form einfacher Zählwerte. Darüber hinaus reduziert sich der verkehrstechnische Wartungsaufwand, da das erfindungsgemäße Verfahren sich selbständig an wechselnde Rahmenbedingungen anpasst.

**[0012]** Indem nach jeder Erfassung des aktuellen Verkehrszustandes eine statistische Verteilung aller erfassten Verkehrszustände gebildet wird, entsprechend der statistischen Verteilung die Verkehrszustände zu Klassen zusammengefasst werden, und für jede Klasse von Verkehrszuständen ein charakteristischer Verkehrszustand als ihr Repräsentant ermittelt wird, wird die Vielfalt an einem Knotenpunkt auftretender Verkehrszustände entsprechend der Häufigkeit ihres Auftretens und ihrer Verteilung im Raum aller Verkehrszustände klassifiziert. Mit Hilfe der Metrik als Maß für die gegenseitige Lage zweier Verkehrszustände kann innerhalb einer Klasse von Verkehrszuständen ein charakteristischer Verkehrszustand, beispielsweise als Schwer- oder Häufungs-

punkt berechnet werden. Durch diese Clusterung wird die Vielfalt der an einem Knotenpunkt auftretenden Verkehrszustände auf eine sinnvoll begrenzte Anzahl von typischerweise auftretenden Verkehrszuständen, den charakteristischen Verkehrszuständen, begrenzt. Diese schränkt wiederum die Anzahl an zu speichernden, auf die charakteristischen Verkehrszustände abgestimmten Signalprogrammen ein.

**[0013]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Abstand zwischen einem neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand einer Klasse von Verkehrszuständen und dem aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszustand dieser Klasse bestimmt, bei Überschreiten eines vorgebbaren Schwellenwertes für den Abstand der aktuell gültigen charakteristische Verkehrszustand durch den neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand für diese Klasse ersetzt, und ein dem neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand zugeordnetes Signalprogramm berechnet. Hierdurch wird zeitlichen Schwankungen der statistischen Verteilung der Verkehrszustände Rechnung getragen, mit der eine Bewegung bzw. ein Driften der charakteristischen Verkehrszustände einhergeht. Wenn der charakteristische Verkehrszustand einer Klasse zu stark abdriftet, wird ein neuer charakteristischer Verkehrszustand für diese Klasse ermittelt und ein auf diesen abgestimmtes Signalprogramm berechnet. Dadurch steht ein Verfahren zur Verfügung, welches sich auf einer mittel- bis langfristigen Zeitskala an wechselnde Verkehrsbedingungen anpasst. Durch die integrierte Signalprogrammberechnung gewinnt man eine nicht alternde Steuerung hoher Flexibilität und Leistungsfähigkeit, da stets ein optimal abgestimmter Satz an Signalprogrammen zur Verfügung steht.

**[0014]** In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei einem Wechsel des charakteristischen Verkehrszustandes ein Umschaltvorgang vom bislang ausgeführten Signalprogramm zum aktuell auszuführenden Signalprogramm bestimmt. Solange sich der aktuelle Verkehrszustand bei seiner zyklischen Erfassung nicht oder nur wenig ändert, bleibt der charakteristische Verkehrszustand erhalten und damit das ihm zugeordnete Signalprogramm aktiv. Ergibt sich jedoch aufgrund einer Verschiebung der statistischen Verteilung ein neuer charakteristischer Verkehrszustand oder ist aufgrund einer aktuellen Veränderung des Verkehrszustandes der charakteristische Verkehrszustand einer anderen Klasse naheliegender, so ist nach dem Zykluswechsel ein neues Signalprogramm auszuführen.

**[0015]** Damit bei diesem Umschaltvorgang keine verkehrsgefährdenden Signalzustände auftreten, wird ein stetiger Phasenübergang zwischen den sich abwechselnden Signalprogrammen bestimmt und ausgeführt.

**[0016]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden fortlaufend Verkehrsdaten des Knotenpunktes durch Detektoren in Form von Rohmesswerten erfasst, die erfassten Rohmesswerte zyklisch ab-

gefragt und durch Mittelung oder Glättung aufbereitet, im Falle fehlender Messwerte Ersatzwerte verwendet, und aus den aufbereiteten und gegebenenfalls ersetzten Messwerten der aktuelle Verkehrszustand abgeleitet. Hierdurch werden aus den kontinuierlich erfassten Rohmesswerten der Detektoren sinnvoll verwertbare Messwerte gewonnen, die dem Verfahren zyklisch einen aktuellen Verkehrszustand am zu regelnden Knotenpunkt auch bei einem möglichen Ausfall von Detektoren zur Verfügung stellt.

**[0017]** Das erfindungsgemäße System zum Steuern von Lichtsignalgebern an einem Knotenpunkt umfasst auch ein Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens gemäß den im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 6 genannten Merkmalen. Zu Vorteilen und weiteren Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Steuergerätes wird auf die Unteransprüche 7 bis 9 sowie auf die nachfolgende Beschreibung der Zeichnungen verwiesen, in deren

FIG 1 die Module und Mittel eines erfindungsgemäßen Steuergerätes und in

FIG 2 die Teilprozesse und einzelnen Schritte des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens

schematisch anhand von Flussdiagrammen dargestellt sind.

**[0018]** An sich bekannte Verkehrssteuergeräte sind typischerweise in einem Geräteschrank eingebaut, worin die einzelnen Komponenten, wie Stromversorgung, Steuerung, Signalsicherung, I/O-Module und Lampenschalter, auf einem U-förmigen Rahmen montiert sind. Die Steuerungsbaugruppe besteht im wesentlichen aus einem Hauptprozessor, der beispielsweise bis zu 48 Signalgruppen steuert, aus Speichermodulen und diversen Schnittstellen.

**[0019]** Ein Steuergerät 10 umfasst gemäß FIG 1 ein Kernmodul 20 und ein Steuerungsmodul 30. Im Kernmodul 20 findet das Schalten 21 von Lichtsignalgeber 40 aufweisenden Signalgruppen sowie das fortwährende Erfassen 22 von Verkehrsdaten durch Detektoren 50 statt. Über die Basisversorgung 24 des Kernmoduls 20 sind Zwischenzeiten, Mindestfreigabezeiten, Versatzzeiten und Übergangszeiten vorgebar. Das Steuerungsmodul 30 ist gekapselt, die einzigen Schnittstellen gehen zum verkehrsabhängigen Kernmodul 20 des Steuergerätes 10. Die Steuerungskomponente 30 nutzt dabei nicht die Signalprogrammspeicher des Kernmoduls 20, sondern verwaltet seine eigenen Signalprogramme und setzt lediglich die entsprechenden Schaltbefehle ab.

**[0020]** Das Steuerungsmodul 30 umfasst Mittel 31 zum Aufbereiten der aktuell erfassten Rohmesswerte der Detektoren 50 auf. In dieser Datenvorverarbeitung werden zyklisch die in FIG 2 dargestellten Mittel 23 zum Speichern der Rohmesswerte im Kernmodul 20 abgefragt. Die Rohmesswerte werden unter Umständen anschließend durch besondere Glättungen oder Mittelwertbildun-

gen verdichtet. Falls verschiedenartige Messwerttypen verfügbar sind, etwa Zählung und Zeitlücke, werden abgeleitete Größen wie z.B. LOS-Werte durch Verknüpfung der ursprünglichen Werte berechnet. Im Falle fehlender oder ausgefallener Detektoren 50 werden anstelle der originalen Messwerte Ersatzwerte verwendet. Die Ersatzmesswerte können optional bei der Versorgung 60 des Steuerungsmoduls 30 definiert werden. Es ist auch möglich, Ersatzwerte spezifisch für verschiedene Tagestypen und Stundenbereiche anzugeben. Die derart aufbereiteten Messwerte stellen den am Knotenpunkt erfassten Verkehrszustand dar, der in den in FIG 2 dargestellten Mitteln 32 zum Speichern aufbereiteter Messwerte abgelegt wird.

**[0021]** Das Steuerungsmodul 30 umfasst ferner Mittel 33 zum Ableiten von für den Knotenpunkt charakteristischen Verkehrszuständen. Hier werden fortlaufend Statistiken über die aktuellen Verkehrsdaten erstellt, wobei spezielle Kalendertage, wie Werktage, Wochenenden und Feiertage, berücksichtigt werden. Durch die Verwendung entsprechend geglättet bzw. gemittelter Werte werden über die Statistiken nur mittel- bis langfristige Trends erfasst. Die Einbeziehung von Kalenderdaten ist wichtig, um auf selten vorkommende, aber wichtige Verkehrszustände adäquat reagieren zu können. Mit Hilfe eines Cluster-Verfahrens wird auf Basis der Statistiken der gesamte Raum der möglichen Verkehrszustände in disjunkte Klassen eingeteilt. Die maximale Anzahl der Klassen kann über die Versorgung 60 des Steuerungsmoduls 30 vorgegeben werden. Für jede Klasse wird ein repräsentativer Vertreter berechnet, der sogenannte charakteristische Verkehrszustand. Die Bestimmung der Klassen und ihrer Repräsentanten basiert auf Metriken, also bestimmten Abstandsfunktionen, die Ausdruck für spezielle Leistungsfähigkeitskriterien wie Wartezeiten oder Aufstelllängen sind. Die Art der Kriterien kann in der Versorgung 60 des Steuerungsmoduls 30 angewählt werden. Die charakteristischen Verkehrszustände werden in Mitteln 34 abgespeichert.

**[0022]** Weiterhin umfasst das Steuerungsmodul 30 Mittel 35 zum Überwachen von Änderungen der charakteristischen Verkehrszustände. Es werden jeweils die aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszustände mit den neu berechneten charakteristischen Verkehrszuständen verglichen und bestimmt, ob sich die neuen, ggf. gedrifteten, von den aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszuständen über ein bestimmtes, vorgebares Maß hinaus entfernt haben. Bei Überschreitung einer Schwelle ersetzt ein neuer, gedrifteter charakteristischer Verkehrszustand den aktuell gültigen Vertreter für diese Klasse. Zur Bestimmung der Entfernung zweier charakteristischer Verkehrszustände werden die gleichen Metriken wie beim Clustern der Verkehrszustände verwendet.

**[0023]** Das Steuerungsmodul 30 umfasst außerdem Mittel 36 zum Berechnen von Signalprogrammen, welche je auf einen gespeicherten charakteristischen Verkehrszustand abgestimmt und diesem zugeordnet sind.

Für jeden neuen, gedrifteten charakteristischen Verkehrszustand wird ein optimales Signalprogramm mit Hilfe eines "genetischen Algorithmus" auf der Basis von Attributen eines charakteristischen Verkehrszustandes, beispielsweise Zählwerte oder Verkehrsdichten, von der Knotentopologie und von weiteren Zusatzinformationen, wie Richtungsprioritäten, Aufstelllängen und Versatzzeiten, berechnet. Dabei ist das Optimierungskriterium, also die Zielfunktion, frei vorgebar. Die maximale Anzahl an Signalgruppen ist in diesem Ausführungsbeispiel auf sechzehn begrenzt. Das neu berechnete Signalprogramm wird in Mitteln 37 zum Speichern von Signalprogrammen abgelegt, wobei es dem charakteristischen Verkehrszustand, auf den es zugeschnitten ist, zugeordnet wird.

**[0024]** Das Steuerungsmodul 30 umfasst Mittel 38 zum Bestimmen des dem aktuellen Verkehrszustand nächstliegenden charakteristischen Verkehrszustandes mit zugeordnetem Signalprogramm. In Abhängigkeit der online erfassten Verkehrszustände geschieht die Auswahl des jeweils passenden Signalprogramms über die Bestimmung des nächstliegenden charakteristischen Verkehrszustandes. Zur Entfernungsbestimmung werden die gleichen Metriken wie beim Analysieren und Clustern der Verkehrszustände verwendet. Um kurzfristig auf besonders extreme, ausgefallene Situationen reagieren zu können, steht ein freies Notfall-Signalprogramm zur Verfügung, welches je nach Situation kurzfristig überschrieben und geschaltet werden kann und insbesondere nicht dem Drift der charakteristischen Verkehrszustände unterliegt. Im Falle eines Signalprogrammwechsels werden entsprechende Phasenübergänge bestimmt, die die üblichen Rahmenbedingungen, wie Zwischen- und Versatzzeiten, berücksichtigen. Für die Berechnung der Phasenübergänge werden vorhandene Routinen des Kernmoduls 20 genutzt.

**[0025]** Schließlich umfasst das Steuerungsmodul 30 Mittel 39 zum Ausführen eines Signalprogramms. Entsprechend dem gerade aktiven Signalprogramm werden sekundlich Schaltbefehle für die Lichtsignalgeber 40 an das Kernmodul 20 des Steuerungsgeräts 10 weitergegeben. Damit besitzt das Steuerungsmodul 30 seine eigene Festzeitsteuerung mit eigenverwalteten Signalprogrammen.

**[0026]** Das Verfahren zum Steuern von Lichtsignalgebern 40 an einem Knotenpunkt besteht gemäß FIG 2 aus den drei zyklischen Teilprozessen "Datenaufbereitung und Clustern der Verkehrszustände" 70, "Überwachung der charakteristischen Verkehrszustände und Signalprogrammberechnung" 80 und "Signalprogrammauswahl und Signalgruppenschaltung" 90, die die teilweise gemeinsamen lokalen Mittel 23 zum Speichern von Rohmesswerten der Detektoren 50, Mittel 32 zum Speichern aufbereiteter Messwerte bzw. Verkehrszustände, Mittel 34 zum Speichern charakteristischer Verkehrszustände sowie Mittel 37 zum Speichern von den charakteristischen Verkehrszuständen zugeordneten Signalprogrammen nutzen. Ansonsten arbeiten die Teilprozesse

aber weitgehend unabhängig voneinander.

**[0027]** Der Teilprozess 70 beginnt im Schritt 71 mit dem zyklischen Auslesen der Rohmesswerte aus dem Speicher 23. Im Schritt 72 werden diese Rohmesswerte aggregiert, d.h. geglättet und gegebenenfalls zeitlich gemittelt, und verknüpft. Bei ausgefallenen oder fehlenden Detektoren 50 können Ersatzwerte verwendet werden. Die derart aufbereiteten Messwerte bilden die Verkehrszustände, mit denen das Verfahren arbeitet; sie werden in den Speicher 32 abgelegt. In Schritt 73 wird der Raum der Verkehrszustände entsprechend einer statistischen Verteilung der Verkehrszustände in eine festgelegte Anzahl von Klassen eingeteilt. Für jede Klasse wird ein Repräsentant, ein sogenannter charakteristischer Verkehrszustand, berechnet. In Schritt 74 werden die jeweils neuesten charakteristischen Verkehrszustände im Speicher 34 abgelegt und dort gegebenenfalls zyklisch überschrieben. Der Speicher 34 enthält außerdem die gerade gültigen charakteristischen Verkehrszustände, auf denen die automatische Signalprogrammauswahl aktuell operiert.

**[0028]** Der Teilprozess 80 beginnt im Schritt 81 mit dem Abrufen der aktuell gültigen und der neu berechneten charakteristischen Verkehrszustände aus dem Speicher 34. Zyklisch wird in Schritt 82 überprüft, ob sich ein neu berechneter charakteristischer Verkehrszustand über einen Schwellenwert hinaus von dem aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszustand entfernt. Bei der Bestimmung der gegenseitigen Lage von charakteristischen Verkehrszuständen wird eine vorgegebene Metrik als Maß für den Abstand angewendet. Bei Überschreiten des Schwellenwertes wird in Schritt 83 der bisher gültige charakteristische Verkehrszustand durch den neu berechneten, gedrifteten charakteristischen Verkehrszustand ersetzt und im Speicher 34 abgelegt. Ferner wird in Schritt 84 ein auf den neuen charakteristischen Verkehrszustand zugeschnittenes Signalprogramm berechnet und unter Zuordnung zu diesem im Speicher 37 abgelegt.

**[0029]** Teilprozess 90 startet in Schritt 91 zyklisch mit dem Abrufen des aktuellen Verkehrszustandes aus dem Speicher 32. Weiter in Schritt 92 werden die aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszustände aus dem Speicher 34 abgerufen, um in Schritt 93 festzustellen, welcher der gültigen charakteristischen Verkehrszustände dem aktuellen Verkehrszustand bezüglich einer vorgegebenen Metrik am nächsten liegt. In Schritt 94 wird entschieden, ob ein Wechsel des charakteristischen Verkehrszustandes - bedingt entweder durch Drift innerhalb derselben Klasse oder durch Klassenwechsel - aufgrund des aktuellen Verkehrszustands vorliegt. Wenn ja, wird in Schritt 95 das zugehörige Signalprogramm aus dem Speicher 37 geladen und in Schritt 96 ein passender Phasenübergang zum Umschalten vom bisher aktiven auf das neu geladene Signalprogramm bestimmt. Schließlich werden in Schritt 97 Schaltbefehle für die Lichtsignalgeber 40 aufweisenden Signalgruppen entsprechend dem aktuellen Signalplan oder nach dem be-

stimmten Phasenübergang abgegeben. Die Kollektion der gespeicherten Signalprogramme passt sich ständig an die aktuelle statistische Verteilung der Verkehrswerte an, wodurch sich das erfindungsgemäße Steuergerät 10 selbst organisiert.

## Patentansprüche

### 1. Verfahren zum Steuern von Lichtsignalgebern (40) an einem Knotenpunkt, wobei

- ein Verkehrszustand am Knotenpunkt zyklisch erfasst wird,
- ein auf den erfassten Verkehrszustand abgestimmtes Signalprogramm ausgewählt wird,
- und die Lichtsignalgeber (40) von dem ausgewählten Signalprogramm Schaltbefehle erhalten,

### dadurch gekennzeichnet, dass

- aus den erfassten Verkehrszuständen für den Knotenpunkt charakteristische Verkehrszustände abgeleitet werden,
- jedem der charakteristischen Verkehrszustände ein auf diesen abgestimmtes Signalprogramm zugeordnet wird,
- als Maß für die gegenseitige Lage zweier Verkehrszustände eine Metrik definiert wird,
- der bezüglich der definierten Metrik dem aktuellen Verkehrszustand nächstliegende charakteristische Verkehrszustand ermittelt wird,
- und das dem nächstliegenden charakteristischen Verkehrszustand zugeordnete Signalprogramm zum Abgeben von Schaltbefehlen für die Lichtsignalgeber (40) ausgeführt wird,

### wobei

- nach jeder Erfassung des aktuellen Verkehrszustandes eine statistische Verteilung aller erfassten Verkehrszustände gebildet wird,
- entsprechend der statistischen Verteilung die Verkehrszustände zu Klassen zusammengefasst werden,
- und für jede Klasse von Verkehrszuständen ein charakteristischer Verkehrszustand als ihr Repräsentant ermittelt wird.

### 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Abstand zwischen einem neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand einer Klasse von Verkehrszuständen und dem aktuell gültigen charakteristischen Verkehrszustand dieser Klasse bestimmt wird,

- bei Überschreiten eines vorgebbaren Schwellenwertes für den Abstand der aktuell gültige charakteristischer Verkehrszustand durch den neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand für diese Klasse ersetzt wird, 5
- und ein dem neu ermittelten charakteristischen Verkehrszustand zugeordnetes Signalprogramm berechnet wird.
- 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, 10  
**dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem Wechsel des charakteristischen Verkehrszustandes ein Umschaltvorgang vom bislang ausgeführten Signalprogramm zum aktuell auszuführenden Signalprogramm bestimmt wird.
- 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**  
  - fortlaufend Verkehrsdaten des Knotenpunktes durch Detektoren (50) in Form von Rohmesswerten erfasst werden, 20
  - die erfassten Rohmesswerte zyklisch abgefragt und durch Mittelung oder Glättung aufbereitet werden, 25
  - im Falle fehlender Messwerte Ersatzwerte verwendet werden, 30
  - und aus den aufbereiteten und gegebenenfalls ersetzten Messwerten der aktuelle Verkehrszustand abgeleitet wird.
- 5. Steuergerät (10) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit  
  - Mitteln (32) zum Speichern von an einem Knotenpunkt erfassten Verkehrszuständen 35
  - und Mitteln (39) zum Ausführen eines Signalprogramm, welches zur Abgabe von Schaltbefehlen an die Lichtsignalgeber (40) ausgebildet ist, 40**gekennzeichnet durch**
  - Mittel (33) zum Ableiten von für den Knotenpunkt charakteristischen Verkehrszuständen aus den gespeicherten Verkehrszuständen, 45
  - Mittel (34) zum Speichern der abgeleiteten charakteristischen Verkehrszustände,
  - Mittel (36) zum Berechnen von Signalprogrammen, welche je auf einen gespeicherten charakteristischen Verkehrszustand abgestimmt und diesem zugeordnet sind, 50
  - Mittel (37) zum Speichern von den charakteristischen Verkehrszuständen zugeordneten Signalprogrammen, 55
  - und Mittel (38) zum Bestimmen des dem aktuellen Verkehrszustand nächstliegenden charakteristischen Verkehrszustandes mit zugeordnetem Signalprogramm,

wobei die Mittel (33) zum Ableiten von für den Knotenpunkt charakteristischen Verkehrszuständen

- Mittel zum Bilden einer statistischen Verteilung der erfassten Verkehrszustände,
- Mittel zum Zusammenfassen der Verkehrszustände zu Klassen entsprechend der statistischen Verteilung,
- und Mittel zum Ermitteln eines charakteristischen Verkehrszustandes als Repräsentant für eine Klasse von Verkehrszuständen

aufweisen.

- 6. Steuergerät nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner Mittel (35) zum Überwachen der gegenseitigen Lage je zweier charakteristischer Verkehrszustände aufweist, wobei der Abstand der beiden charakteristischen Verkehrszustände mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen wird.
- 7. Steuergerät nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner Mittel (31) zum Aufbereiten der aktuell erfassten Detektor-Rohmesswerte aufweist, wobei die aufbereiteten Messwerte den am Knotenpunkt erfassten Verkehrszustand darstellen.

## Claims

- 1. Method for controlling signalling lights (40) at a node, in which

- a traffic situation at the node is detected cyclically,
- a signal program matched to the detected traffic situation is selected,
- and the signalling lights (40) receive switching commands from the selected signal program,

## characterised in that

- characteristic traffic situations are derived from the detected traffic situations for the node,
- each of the characteristic traffic situations is assigned a signal program matched to this traffic situation,
- a metric is defined as a measure of the relative position of two traffic situations,
- the characteristic traffic situation that is closest to the current traffic situation in terms of the defined metric is determined,
- and the signal program assigned to the closest characteristic traffic situation is executed in order to issue switching commands for the signalling lights (40),

where

- after each detection of the current traffic situation, a statistical distribution of all detected traffic situations is generated, 5
- the traffic situations are grouped into classes according to the statistical distribution,
- and a characteristic traffic situation is determined for each class of traffic situations as its representative. 10

**2. Method according to Claim 1, characterised in that**

- the distance between a newly determined characteristic traffic situation of a class of traffic situations and the currently valid characteristic traffic situation of this class is determined, 15
- on a definable threshold value for the distance being exceeded, the currently valid characteristic traffic situation is replaced by the newly determined characteristic traffic situation for this class, 20
- and a signal program assigned to the newly determined characteristic traffic situation is computed. 25

**3. Method according to Claim 1 or 2, characterised in that** when there is a change in the characteristic traffic situation, a procedure is defined for switching from the signal program performed until now to the signal program to be performed as of now. 30

**4. Method according to any of Claims 1 to 3, characterised in that** 35

- traffic data from the node in the form of raw measurements is continuously detected by detectors (50), 40
- the detected raw measurements are polled cyclically and conditioned by averaging or smoothing,
- default values are used where measurements are missing,
- and the current traffic situation is derived from the conditioned, and if applicable, substituted measurements. 45

**5. Control device (10) for carrying out a method according to any of Claims 1 to 5, comprising** 50

- means (32) for storing traffic situations detected at a node
- and means (39) for executing a signal program, which is designed to issue switching commands to the signalling lights (40), 55

**characterised by**

- means (33) for deriving traffic situations characteristic of the node from the stored traffic situations,
- means (34) for storing the derived characteristic traffic situations,
- means (36) for computing signal programs, each of which are matched and assigned to a stored characteristic traffic situation,
- means (37) for storing signal programs assigned to the characteristic traffic situations,
- and means (38) for determining the characteristic traffic situation closest to the current traffic situation, said characteristic traffic situation having an assigned signal program,

where the means (33) for deriving traffic situations characteristic of the node comprise

- means for generating a statistical distribution of the detected traffic situations,
- means for grouping the traffic situations into classes according to the statistical distribution,
- and means for determining a characteristic traffic situation as representative of a class of traffic situations.

**6. Control device according to Claim 5, characterised in that** it also comprises means (35) for monitoring the relative position of two characteristic traffic situations, where the distance between the two characteristic traffic situations is compared with a defined threshold value.

**7. Control device according to Claim 5, characterised in that** it also comprises means (31) for conditioning the currently detected detector raw-measurements, where the conditioned measurements represent the traffic situation detected at the node.

**Revendications**

**1. Procédé de commande de dispositifs (40) lumineux de signalisation en un point nodal, dans lequel**

- on détecte cycliquement un état du trafic au point nodal,
- on sélectionne un programme de signal adapté à l'état du trafic déterminé,
- et les dispositifs (40) lumineux de signalisation reçoivent des instructions de commutation du programme de signal sélectionné,

**caractérisé en ce que**

- on déduit des états de trafic détectés, des états de trafic caractéristiques du point nodal,



- on associe à chacun des états de trafic caractéristiques, un programme de signal qui lui est adapté,
- on définit une métrique comme mesure de la position mutuelle de deux états de trafic,
- on détermine, par rapport à la métrique définie, l'état du trafic caractéristique le plus proche de l'état du trafic instantané,
- et l'on effectue le programme de signal associé à l'état de trafic caractéristique le plus proche pour émettre des instructions de commutation des dispositifs (40) lumineux de signalisation,

dans lequel

- après chaque détection de l'état de trafic actuel, on forme une répartition statistique de tous les états de trafic détectés,
- en fonction de la répartition statistique, on rassemble en classes les états de trafic,
- et on détermine pour chaque classe d'état de trafic, un état de trafic caractéristique comme étant son représentant.

**2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que**

- on détermine l'intervalle entre un état de trafic caractéristique nouvellement déterminé d'une classe d'état caractéristique et l'état de trafic caractéristique en vigueur actuellement de cette classe,
- si une valeur de seuil pouvant être prescrite pour l'intervalle est dépassée, on remplace l'état de trafic caractéristique en vigueur actuellement par l'état de trafic caractéristique nouvellement déterminé pour cette classe,
- et on calcule un programme de signal associé à l'état de trafic caractéristique nouvellement déterminé.

**3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que** lors d'un changement de l'état de trafic caractéristique, on détermine une opération de passage du programme de signal exécuté jusqu'ici au programme de signal s'exécutant actuellement.

**4. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que**

- on détecte en continu des données de trafic du point nodal par des détecteurs (50) sous la forme de valeurs de mesures brutes,
- on demande cycliquement les valeurs de mesures brutes détectées et on les traite en faisant une moyenne ou un lissage,
- dans le cas où des valeurs de mesures sont

- manquantes, on utilise des valeurs de remplacement,
- et l'on déduit des valeurs de mesures traitées et le cas échéant remplacées l'état de trafic actuel.

**5. Appareil (10) de commande pour la mise en oeuvre d'un procédé suivant l'une des revendications 1 à 5, comprenant**

- des moyens (32) de mémorisation d'états de trafic détectés sur un point nodal,
- et des moyens (39) d'exécution d'un programme de signal qui est formé pour émettre des instructions de commutation aux dispositifs (40) lumineux de signalisation,

**caractérisé par**

- des moyens (33) pour déduire des états de trafic caractéristiques pour le point nodal à partir des états de trafic mémorisés,
- des moyens (34) de mémorisation des états de trafic caractéristiques déduits,
- des moyens (36) de calcul de programmes de signal, qui sont adaptés respectivement à un état de trafic caractéristique mémorisé et qui lui sont associés,
- des moyens (37) de mémorisation des programmes de signal associés aux états de trafic caractéristiques,
- des moyens (38) de détermination de l'état de trafic caractéristique le plus proche de l'état de trafic actuel ayant un programme de signal associé,

les moyens (33) pour déduire des états de trafic caractéristiques pour le point nodal, comportant

- des moyens de formation d'une répartition statistique des états de trafic détectés,
- des moyens de rassemblement des états de trafic en des classes correspondant à la répartition statistique,
- et des moyens de détermination d'un état de trafic caractéristique comme représentant d'une classe d'état de trafic.

**6. Appareil de commande suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'il a en outre des moyens (35) de contrôle de la position mutuelle de deux états de trafic caractéristiques, l'intervalle entre les deux états de trafic caractéristiques étant comparé à une valeur de seuil prescrite.**

**7. Appareil suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens (31) de traitement des valeurs de mesures**

brutes de détecteur détectées actuellement, les valeurs de mesures traitées représentant l'état de trafic détecté au point nodal.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

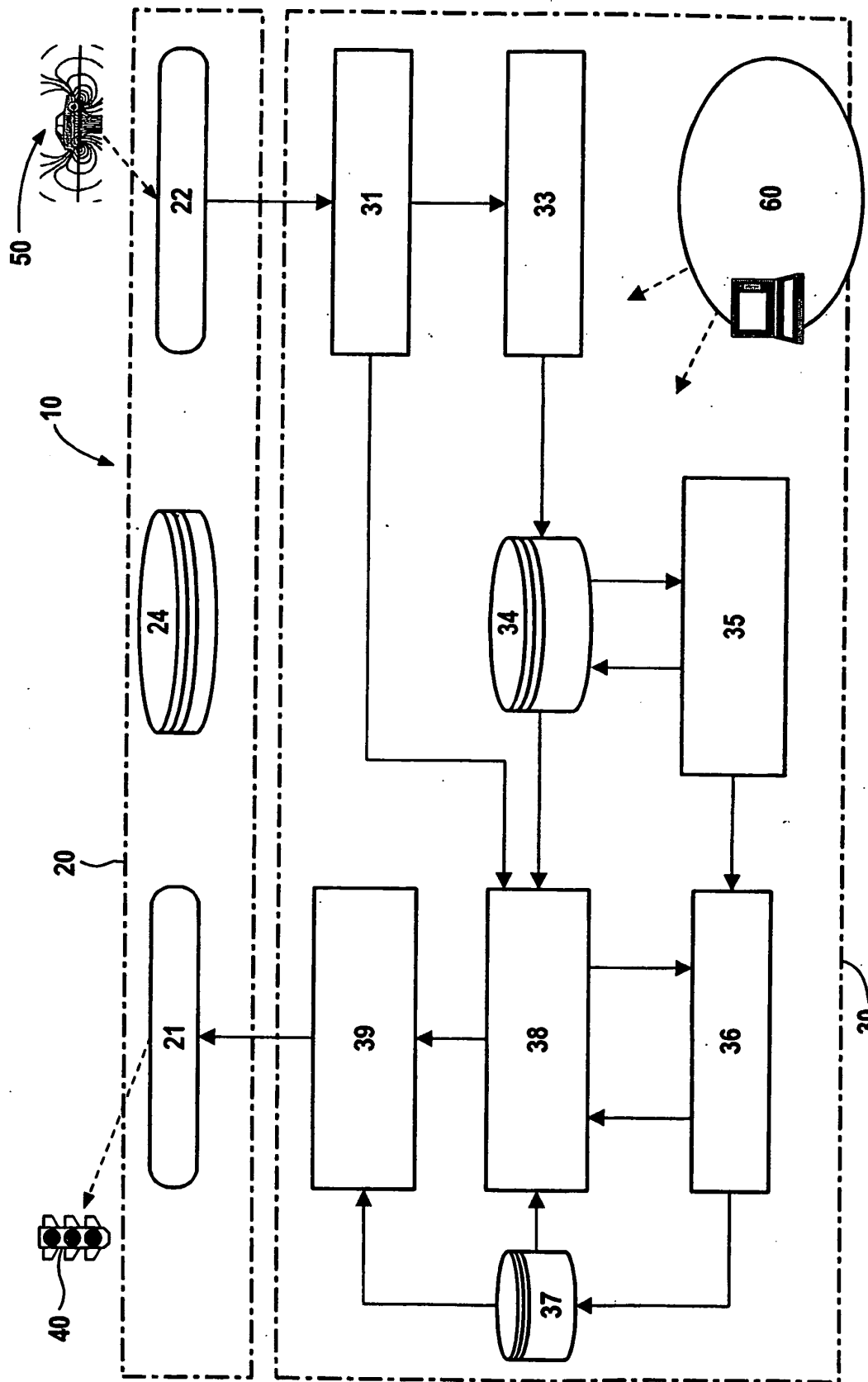


FIG 1

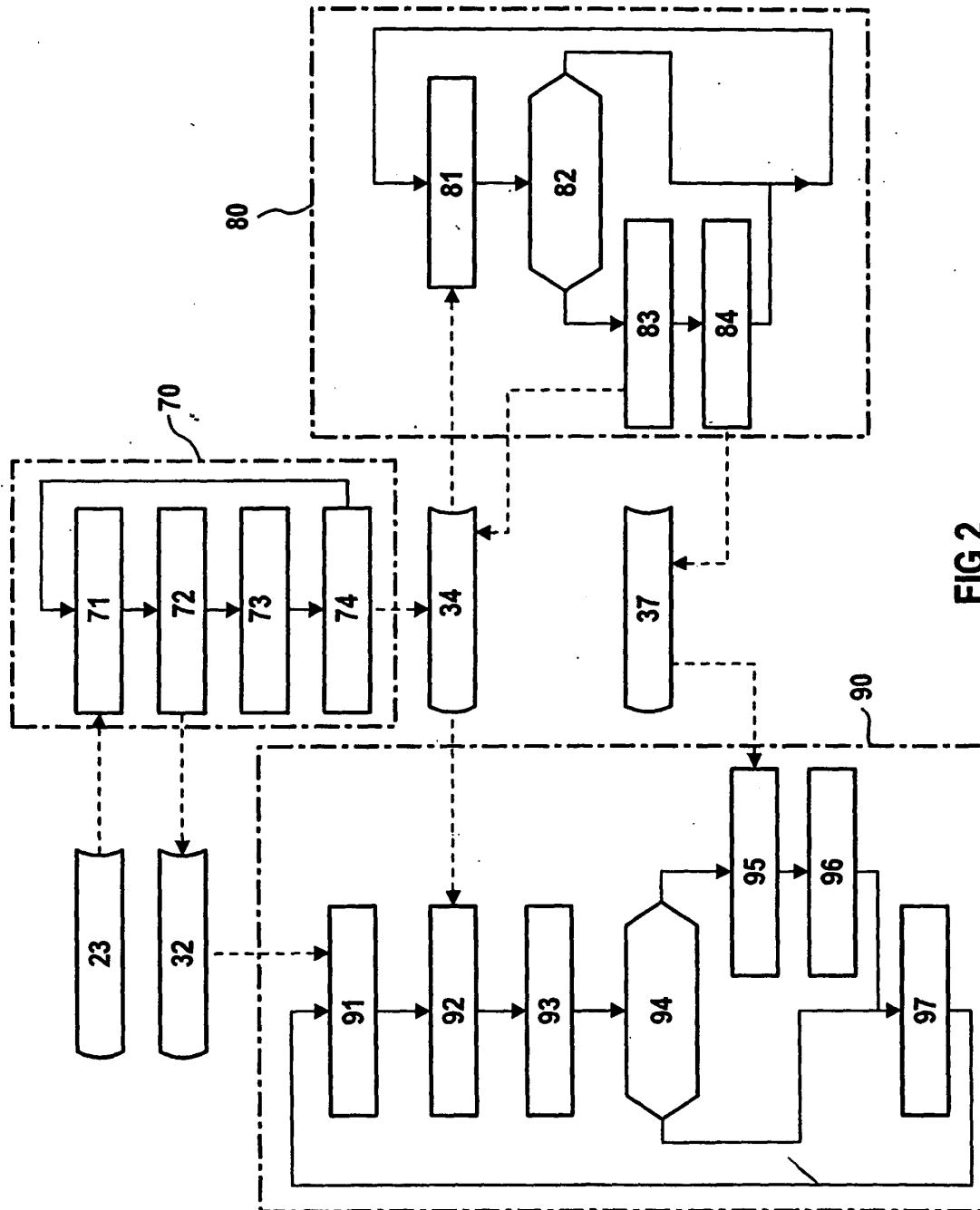


FIG 2

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 4436339 A1 [0005]
- US 5257194 A [0007]
- US 5778332 A [0008]
- US 3818429 A [0009]