



(11) **EP 2 492 886 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.08.2012 Patentblatt 2012/35

(51) Int Cl.:
G08G 1/07^(2006.01) G08G 1/081^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12156341.5**

(22) Anmeldetag: **21.02.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **28.02.2011 DE 102011004841**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**

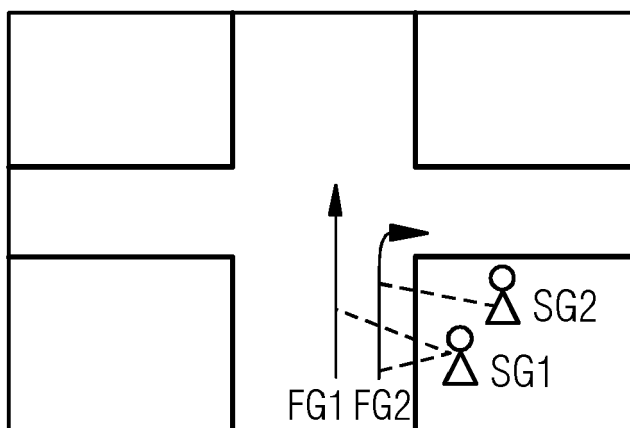
(72) Erfinder:
• **Ge, Qiao**
CH / 8046 Zürich (CH)
• **Poschinger, Andreas**
82515 Wolfratshausen (DE)
• **Bunz, Martin**
86152 Augsburg (DE)
• **Tannert, Reinhold**
82216 Maisach-Gernlinden (DE)

(54) **Verfahren und Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem zur Steuerung von Lichtsignalanlagen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Lichtsignal-Steuerungseinrichtung zur Steuerung von Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbe-

reich, wobei eine Verteilung von Grünzeiten auf die jeweiligen Signalgruppen der einzelnen signalisierten Knoten mittels eines phasenbasierten Kandidatenauswahlverfahrens erfolgt.

FIG 1



EP 2 492 886 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem zur Steuerung von Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbereich. Insbesondere betrifft sie ein Verfahren, bei dem alle Verkehrsteilnehmer, wie der Individualverkehr, der öffentliche und private Nahverkehr, sowie Fußgänger und Radfahrer in Abhängigkeit der Verkehrssituation berücksichtigt werden können, und erlaubt eine Optimierung des Verkehrsflusses an signalisierten Knoten in einem Regelbereich hinsichtlich der Auswahl der relevanten Stellgrößen, wie zum Beispiel der Phasenfolge, der Umlaufzeitwahl, der Grünzeitverteilung und der Versatzzeitberechnung. Das Verfahren kann aber auch für die planerische Optimierung solcher Verfahren auf Basis von vorab ermittelten Verkehrsdaten eingesetzt werden.

[0002] Verkehrssteuerungssysteme der komplexeren Art werden heute auf vielbefahrenen Straßen, speziell auf Autobahnen und in stark frequentierten innerörtlichen Strecken wie beispielsweise Ring- und Einfallstraßen von Großstädten, verwendet. Sie weisen üblicherweise eine Vielzahl von Verkehrssteuerungs-Aktuatoren auf. Hierunter werden alle Verkehrsregelungsinstrumente verstanden, die durch Signalgebung an Verkehrsteilnehmer Verkehrsregeln und Verkehrshinweise weitergeben. Insbesondere fallen darunter also Lichtsignalanlagen, Verkehrszeichen, die variabel oder statisch solche Regeln und Hinweise anzeigen, jedoch auch Instrumente wie der Verkehrsfunk oder die Verkehrsregelung über Ferneinfluss auf Navigationssysteme.

[0003] Zwischen der innerörtlichen Anwendung und der außerörtlichen Anwendung ergeben sich hierbei deutliche Unterschiede. Städtische Verkehrssteuerungssysteme stellen vor allem darauf ab, über eine Steuerung von Lichtsignalanlagen durch ein urbanes Verkehrsmanagement-System innerstädtische Verkehrsflüsse effektiv zu steuern bzw. zu leiten. Dagegen weisen außer-örtliche, speziell Autobahnverkehrssteuerungssysteme, üblicherweise eine deutlich größere Anzahl unterschiedlicher Aktuatoren zur Steuerung von Verkehrsflüssen auf. Hierunter zählen unter anderem variable Verkehrsregelungsanzeigen, die Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote, Geschwindigkeitsgebote, Sicherheitswarnungen, Wetterinformationen und andere strecken- bzw. umweltrelevante Anzeigen darstellen können.

[0004] Inner- wie außerstädtische Verkehrsleitsysteme weisen außerdem oft Richtungspfeile auf, die bestimmte Fahrstreifen für einen Verkehr sperren bzw. freigeben können oder einen notwendigen Fahrspurwechsel anzeigen. Zusätzlich hierzu können Umleitungen ausgeschildert und Staugefahren angezeigt werden, weshalb sie neben fest installierten Anzeigetafeln auch mobile Anzeigen umfassen können.

[0005] Verfahren für die Steuerung von Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen sind bekannt und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Dabei wird häufig die Grünzeit bemessen, d.h. eine bedarfsgerechte Anpassung der Freigabezeit (= Grünzeit) ermittelt. Dabei wird zur verkehrsabhängigen Freigabezeitanpassung bisher vorwiegend mit Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen und Belegungsgraden in den Zufahrten zu den Knotenpunkten gearbeitet, wobei häufig feste Schwellenwerte definiert werden. Das Über- bzw. Unterschreiten dieser Schwellenwerte, oder auch Kombinationen dieser Eingangsgrößen, führen zum Abschalten oder Verlängern des laufenden Verkehrsstroms. Bei der Freigabezeitanpassung mittels Zeitlückenmessung werden über einen Detektor in der Knotenpunktzufahrt die zeitlichen Abstände aufeinanderfolgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms als Zeitlücke gemessen. Die Freigabezeit wird nach Ablauf der gewählten minimalen Freigabezeit oder nach Erreichen eines frühesten Zeitpunktes im Umlauf dem aktuellen Bedarf der zufließenden Fahrzeuge angepasst. Die Freigabezeit kann so lange verlängert werden, bis die gemessene Zeitlücke mindestens so groß ist wie ein vorgegebener Zeitlückenschwellenwert oder bis die längste festgelegte Freigabezeit oder der späteste Verlängerungszeitpunkt im Signalumlauf erreicht wird.

[0006] Bei der Freigabezeitanpassung mittels Belegungsgradmessung werden ebenfalls Schwellenwerte für den Abbruch der Freigabezeit definiert. Die Auswertung der Messwerte erfolgt getrennt für jeden Fahrstreifen. Der Originalbelegungsgrad wird mit Hilfe eines Ausgleichsverfahrens geglättet. Gegebenenfalls wird je ein Ausgleichsfaktor für ansteigende und abfallende Tendenzen der Originalwerte verwendet.

[0007] Bei der so genannten "Volume-Density-Method" wird die Anzahl der vor Rot stehenden Fahrzeuge mit den Zeitlücken im laufenden Verkehr verglichen. Dabei wird eine Grenzwertkurve definiert, die einer festen Anzahl wartender Fahrzeuge einen Festzeitlückenwert zuweist, bis zu dem die laufende Freigabezeit noch verlängert wird. In einer erweiterten Methode kann die Grünzeitbemessung nach Dringlichkeit erfolgen. Die Anzahl der vor Rot stehenden Fahrzeuge wird hier mit den Zeitlücken und zusätzlich mit der Belegung im laufenden Verkehr verglichen. Auch hier werden Schwellenwerte verwendet.

[0008] In der WO 97 / 34274 A1, ein Äquivalent zu der EP 0 886 845 A1, wird ein Verfahren zur verkehrsabhängigen Steuerung beschrieben, in dem mit Hilfe von Fuzzy-Logik der aktuelle Verkehrszustand beurteilt wird. Nach Abwägung der unterschiedlichen Interessenslagen der konkurrierenden Verkehrsströme wird eine Entscheidung hinsichtlich der Verlängerung der aktuellen Phase oder des Abbruchs und einer Auswahl der nächsten Phase getroffen. Dies geschieht gemäß der in dieser Schrift beschriebenen Methode in Abhängigkeit von den gegebenen Möglichkeiten durch den aktuellen Signal-/Rahmenplan. Hierbei ermöglicht der Einsatz von Fuzzy-Logik im Bereich der Knotenpunktsteuerung, dass die zuvor verwendeten harten Schwellenwerte durch gleitende Übergänge ersetzt werden können und somit zum Beispiel eine differenziertere Betrachtung der Eingangswerte ermöglicht (vgl. auch Xiaohong, Peng et al., "Twostage

fuzzy logic controller based on adjustable phase sequence for urban traffic intersection" in IEEE International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, S. 610-613, April 2009).

[0009] US 2009 / 0322561 A1 beschreibt ein Verfahren zur Steuerung von Signalzeichenanlagen auf Basis von Daten aus der momentanen Verkehrssituation und deren zeitlicher Entwicklung. Hierbei umfasst die Methode die Berechnung der zur Auflösung eines Rückstaus erforderlichen Grünzeit.

[0010] WO 2010 / 040649 A2 beschreibt eine verkehrsadaptive Netzsteuerung und ein Verfahren zur Optimierung der Steuerungsparameter basierend auf einem genetischen Algorithmus.

[0011] Huang, Bo et al., "Modeling of urban traffic systems based on fluid stochastic petri nets", in IEEE fourth International Conference on Natural Computation, S. 149-153, Oktober 2008, beschreiben ein Hybridmodell für Verkehrssystemsteuerungen und insbesondere eine auf einem erweiterten Petri-Netz-Modell basierende Ampelsteuerung.

[0012] DE 10 2005 023 742 B4 beschreibt ein Verfahren zur Steuerung eines Verkehrsnetzes unter Anwendung einer Auswahl von Signalgruppen, einer Variation von Grünzeiten, einer Variation von Umschaltpunkten und einer Auswahl von Steuerungsstrategien.

[0013] Ein einfaches Beispiel eines modellbasierten Verfahrens ist ein Grünzeitbemessungsverfahren, bei dem der Auslastungsgrad einer laufenden Signalgruppe mit dem Auslastungsgrad einer feindlichen, auf Rot stehenden Signalgruppe verglichen wird.

[0014] Jedoch haben alle diese Verfahren ihre Grenzen, insbesondere hinsichtlich der algorithmischen Ansätze auf Grund fehlender oder zu einfacher Steuerungsmodelle. Weitere Grenzen ergeben sich aus einer starken Einschränkung von verkehrlich relevanten Steuerungsszenarien, z.B. dass eine Signalgruppe wenn sie in mehreren Phasen hintereinander auftritt nur in der letzten Phase verlängert werden kann, nicht aber in der ersten Phase, worunter ggf. andere Signalgruppen die als zweit wichtigste zusätzliches Grün benötigen würden dieses nicht bekommen.

[0015] Neuere Ansätze optimieren die Grünzeitverteilung, Umlaufzeitwahl und Versatzzeitoptimierung sowie ggf. die Auswahl der Phasenfolge in einem geschlossenen Steuerungsmodell gleichzeitig beziehungsweise parallel. Nachteilig hiervon ist, dass das Optimierungsproblem NP vollständig ist, d.h. mit bekannten nicht heuristischen Optimierungsverfahren das Systemoptimum nicht in endlicher Zeit gefunden werden kann. Daher muss auf heuristische Optimierungsverfahren zurückgegriffen werden, wie zum Beispiel "Simulated Annealing" oder Tabusuche oder genetische Algorithmen wie von Braun in "Ein echtzeitfähiger Evolutionärer Algorithmus zur netzweiten Optimierung der Lichtsignalsteuerung" beschrieben.

[0016] Jedoch haben auch diese Verfahren ihre Grenzen, insbesondere hinsichtlich der benötigten Rechenzeit sowie der Anzahl der zu berücksichtigten Stellgrößen, und ebenso algorithmische Grenzen auf Grund der Komplexität der Verfahren und dem Umstand, dass das Finden des Systemoptimums nicht garantiert werden kann. So werden in den vorstehend aufgeführten Verfahren die jeweiligen Stellgrößen, wie die Phasenfolge, die Umlaufzeitwahl, die Grünzeitverteilung und die Versatzzeitberechnung, gemeinsam oder getrennt voneinander optimiert.

[0017] Im Gegensatz zur parallelen beziehungsweise gleichzeitigen Optimierung in einem Optimierungsverfahren besteht der Vorteil einer getrennten Optimierung in eigenständigen zeitlich in der Regel hintereinander ausgeführten Optimierungsverfahren darin, dass die Optimierungskomplexität der einzelnen Optimierungen so reduziert wird, dass sie nicht mehr NP-vollständig sind und dass das Systemoptimum der jeweiligen Einzelaufgabe nicht in endlicher Zeit gefunden werden kann.

[0018] Ein Beispiel für ein solches, aus Einzeloptimierungen bestehendes Verfahren, das zur Grünzeitoptimierung ein Gradientenabstiegsverfahren verwendet, ist das von Siemens entwickelte Verfahren, das auch unter dem Namen "Motion 4.x" bekannt ist. Da jedoch in der Grünzeitverteilung mehrere Stellgrößen, nämlich die Grünzeitanteile der Phasen, optimiert werden ergibt sich immer noch ein mehrdimensionaler Lösungsraum. Die Lösung muss daher in mehreren Verfahrensschritten mittels Iterationen optimiert werden. Dies führt generell zu einer langen Rechenzeit. Zudem ist das Verfahren wenig transparent (so genannter Blackboxcharakter) und Randbedingungen können in Form zusätzlicher Zielfunktionsterme nur bedingt berücksichtigt werden.

[0019] Neben diesem Verfahren sind modellbasierte Verfahren zur Grünzeitoptimierung bekannt, die die Grünzeitverteilung in Zeiteinheiten durchführen, z.B. sekundenweise. Dadurch reduziert sich die Komplexität der Optimierung auf nur eine Dimension, nämlich die der zu verteilenden Grünzeit. Diese lassen sich wiederum in Verfahren einteilen, die zur Findung einer Lösung mehrere Iterationen benötigen, um sich der optimalen Lösung unter Berücksichtigung von Randbedingungen anzunähern, und in Verfahren, die die optimale Grünzeitverteilung in einer Iteration erreichen. Eine Iteration bedeutet dabei, dass jede zu verteilende Zeiteinheit einmal verteilt worden ist. Eine Iteration besteht also aus einer Anzahl von Unteriterationen entsprechend der Anzahl der zu verteilenden Zeiteinheiten.

[0020] Beispiele für Verfahren mit mehreren Iterationen sind das so genannte Sperrgruppenverfahren, in dem feindliche Signalgruppen gesucht werden, sowie das Verfahren nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrslagen (HBS). Diese Verfahren mit mehreren Iterationen benötigen jedoch erheblichen und vorab nicht bestimm-
baren Rechenzeitbedarf, sind ebenfalls wenig transparent (Blackboxcharakter), Randbedingungen können meist nur implizit berücksichtigt werden, und die Verfahren unterliegen oft auch algorithmischen Einschränkungen, z.B. bezüglich der unterstützten Signalkonfigurationen.

[0021] Verfahren zur Grünzeitverteilung mit nur einer Iteration zur Grünzeitverteilung sind zum Beispiel die Verfahren "Motion 2.x" und "Motion 3.x". Diese benötigen auf Grund der einfachen Berechnungsweise eine niedrigere Rechenzeit und Randbedingungen können einfacher eingehalten werden, besitzen aber auch Nachteile. Insbesondere können sie nicht alle Signalkonstellationen, wie z.B. Signalüberlappungen einschließlich einer inneren Mehrphasigkeit, optimal berücksichtigen, und die Einhaltung der Regeln ist nicht transparent, d.h. auch dieses Verfahren hat einen Blackbox-charakter. Eine innere Mehrphasigkeit ist gegeben, wenn zwei Signalgruppen gemeinsam freigegeben werden und zudem die eine der beiden Signalgruppen im Vorlauf und die andere der beiden Signalgruppen im Nachlauf freigegeben wird.

[0022] Neben den vorstehend beschriebenen Verfahren zur Grünzeitverteilung in solchen Verkehrssteuerungssystemen beeinflusst die Umlaufzeitwahl in den signalisierten Knoten und dem gesamten Regelbereich die Leistungsfähigkeit der signalisierten Knoten. So ist grundsätzlich eine Änderung der Umlaufzeit mit Umschaltverlusten verbunden, wenn die Verkehrssteuerungssysteme eine gemischt zentrale und dezentrale Architektur haben. Dies liegt daran, dass in den Steuergeräten dieser Systeme zwischen unterschiedlichen Signalplänen umgeschaltet werden muss. Die Umschaltverluste ergeben sich dadurch, dass die signalisierten Knoten synchronisiert werden müssen. Auf Grund der Synchronisation ändern sie jedoch ihre Wellenlage. Dies führt in der Regel zu zusätzlichen Halten von Verkehrsteilnehmern während der Umschaltung.

[0023] So sind zur Ermittlung der Umlaufzeit verschiedene Verfahren bekannt, die hier zum Verständnis kurz erläutert werden sollen.

[0024] In einem beispielhaften Verfahren kann die Umlaufzeit mittels einer Bewertung von Wartezeiten und Halten im koordinierten Gesamtsystem entsprechend einer ganzheitlichen Optimierung ermittelt werden. Der Nachteil hiervon ist, dass die Wahl der Umlaufzeit wenig nachvollziehbar und auf Grund der Abhängigkeit von der Koordinierung Schwankungen unterworfen ist.

[0025] In einem weiteren Verfahren beruht die Umlaufzeitwahl auf der kritischen Signalgruppe, also der Signalgruppe in einem Regelbereich, die den höchsten Ausnutzungsgrad besitzt. Die Umlaufzeitwahl ist dadurch interpretierbar, aber immer noch starken Schwankungen unterworfen. Dies liegt zum einen daran, dass die Verkehrsnachfrage an den Signalgruppen starke Schwankungen besitzen kann, und zum anderen daran, dass sich die am stärksten ausgelastete Signalgruppe in dem Regelbereich schnell ändern kann. Dieses Verfahren wird zum Beispiel in "Motion 4.x" verwendet.

[0026] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Alternative zu den bisherigen Verkehrssteuerungsverfahren sowie ein Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem hierfür zu schaffen.

[0027] Diese Aufgabe wird zum einen durch ein Steuerungsverfahren nach Anspruch 1 und zum anderen durch ein Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem nach Anspruch 14 gelöst.

[0028] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Steuerung von Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbereich erfolgt die Verteilung von Grünzeiten auf die jeweiligen Signalgruppen der einzelnen signalisierten Knoten mittels eines Kandidatenauswahlverfahrens gemäß einer Anzahl von vorgegebenen Entscheidungskriterien, vorzugsweise mehreren verschiedenen Entscheidungskriterien.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren kann hierfür auf einer allgemeinen Methode zur Grünzeitverteilung aufbauen, in der eine gemeinsame Umlaufzeit eines Regelbereiches, die so genannte Regelbereichs-Umlaufzeit, bei der Grünzeitverteilung eines jeden signalisierten Knotens als Basis genommen wird. Der grundsätzliche Ablauf dieser allgemeinen Methode besteht aus den folgenden drei Schritten:

1. Berechnung der minimalen Umlaufzeit je Knoten bezüglich Randbedingungen und Auslastung für alle Knoten des Regelbereichs;
2. Auswahl der gemeinsamen Umlaufzeit des Regelbereichs;
3. Grünzeitverteilung für alle signalisierten Knoten für die gewählte Umlaufzeit des Regelbereichs gemäß dem vorstehend erläuterten Verfahren mit einer Iteration.

[0030] Ein Vorteil dieser allgemeinen Methode ist, dass die Umlaufzeit von den Auslastungsgraden aller Signalgruppen eines signalisierten Knotens abhängt. Damit erfolgt eine räumliche Mittelung.

[0031] Ein Knoten ist erfindungsgemäß als ein Bereich im Straßenverkehr definiert, an dem sich feindliche Verkehrsströme treffen, insbesondere kreuzen oder einmünden. Beispiele solcher Knoten sind Kreuzungen, Fußgängerüberwege, Einmündungen etc. Man spricht von einem signalisierten Knoten, wenn ein oder mehrere Verkehrsströme an diesem Knoten durch eine Signalanlage, insbesondere eine Lichtsignalanlage, gesteuert werden. Hierbei ist der Begriff Lichtsignal nicht nur auf Lichtzeichen beschränkt, sondern es ist auch möglich, dass die Lichtzeichen durch weitere Signale wie zum Beispiel akustische Signale ergänzt werden. Deshalb werden diese nachstehend auch als Signalgeber benannt. Gerade im Bereich der Fußgängersignale werden häufig akustische und optische Signale in Kombination eingesetzt, um zum Beispiel sehbehinderten Personen die Benutzung zu erleichtern bzw. um durch eine doppelte Signalisierung eine erhöhte Aufmerksamkeit bei den Verkehrsteilnehmern zu erzielen.

[0032] Ein Regelbereich umfasst gewöhnlich mehr als einen signalisierten Knoten und dient dazu, die Verkehrsströme

an zwei oder mehreren im Verkehrsstrom hintereinander liegenden Knoten zu steuern. Insbesondere dienen die Regelbereiche dazu, den Verkehrsfluss in diesem zu erhöhen. Häufig wird dann auch von einer "Grüne-Welle-Schaltung" gesprochen, die grundsätzlich einen optimalen Fall einer Verkehrssteuerung darstellt. Eine einfache Ausführungsform einer solchen Verkehrssteuerung wählt die vorab festgelegten Signalprogramme und damit auch die Umlaufzeit in einem

Regelbereich tageszeitabhängig, da die Verkehrsströme für gewöhnlich stark mit der Tageszeit variieren. Zum Beispiel kommt es morgens häufig zu einem starken Verkehrsaufkommen in Richtung Stadtmitte, während sich die Verkehrsströme gegen Abend in die entgegengesetzte Richtung, das heißt stadtauswärts, umkehren. Ein Regelbereich kann dabei eine ganze Stadt, einen Teil einer Stadt oder aber auch nur Hauptverkehrsadern oder deren Teile umfassen.

[0033] Um eine Verbesserung bzw. Optimierung des Verkehrsflusses in einem Regelbereich zu erzielen, wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren anstelle der tageszeitabhängigen Auswahl von Signalprogrammen eine verkehrsabhängige Verteilung der Grünzeiten auf die jeweiligen Fahrstreifengruppen beziehungsweise Signalgruppen der einzelnen signalisierten Knoten angestrebt. Dabei wird bei der Verteilung der Grünzeiten, die nachstehend detaillierter erläutert wird, eine Methode eingesetzt, die auf variable Verkehrsströme relativ schnell reagieren kann. Als eine Signalgruppe wird erfindungsgemäß eine Gruppe von Lichtsignalen, die jeweils identische Signalisierungen besitzen verstanden. Zum Beispiel werden bei mehrstreifigen Fahrbahnen neben seitlich angebrachten Signalgebern oft auch Signalgeber über den Fahrbahnen angebracht, wobei jeweils ein Signalgeber über der Fahrbahn mit einem seitlichen Signalgeber eine Signalgruppe darstellen. Verallgemeinert spricht man immer von Signalgruppen, auch wenn es nur einen Signalgeber gibt. Fahrstreifengruppen sind Gruppen von Fahrstreifen, die eine homogene Signalisierung besitzen, das heißt jeder Fahrstreifen wird von denselben Signalgruppen gesteuert. Nichtsignalisierte Fahrstreifen einer Knotenzufahrt werden auch zu Fahrstreifengruppen zusammengefasst, denen kein Signal zugeordnet ist. Signalgruppen können als Hauptsignalgruppen auch mehreren Fahrstreifengruppen zugeordnet sein. Neben einer Hauptsignalgruppe kann einer Fahrstreifengruppe auch ein Zusatzsignal zugeordnet sein, so dass sich die Fahrstreifengruppen dann zwar nicht durch die Hauptsignalgruppe aber durch die Zusatzsignalgruppe unterscheiden. Beispielhaft kann eine Knotenzufahrt drei Fahrstreifen besitzen, von denen zwei geradeaus und einer nach rechts geführt wird. Den beiden Fahrstreifen geradeaus ist ein dreifeldiges Hauptsignal mit Vollscheiben zugeordnet, dem Rechtsabbiegefahrstreifen dasselbe dreifeldige Hauptsignal und zusätzlich ein zweifeldiges Zusatzsignal mit Rechtsabbiegepfeilen. Daraus ergeben sich zwei Fahrstreifengruppen. Die Erste bestehend aus zwei Fahrstreifen gerade aus, denen nur das Hauptsignal zugeordnet ist. Die Zweite bestehend aus dem Fahrstreifen nach rechts, dem das Hauptsignal und das Zusatzsignal zugeordnet ist. Die Fahrstreifengruppen sind in der deutschsprachigen Literatur nicht explizit definiert, wohl aber im "Highway Capacity Manual", das unter anderem die Lichtsignalplanung und Versorgung in den USA definiert.

[0034] Die Grünzeitverteilung erfolgt durch ein spezielles Kandidatenauswahlverfahren, in dem ein Kandidat, zum Beispiel eine spezielle Phase eines signalisierten Knotens oder eine spezielle Signalgruppe, für das jeweilige zu vergebende Grünzeitintervall anhand von vorgegebenen Entscheidungskriterien auf einfache und insbesondere nachvollziehbare Weise gezielt ausgewählt wird. Eine Phase im Sinne der Erfindung ist ein bestimmter Signalisierungszustand eines bestimmten Knotens, welcher durch freigegebene Signalgruppen definiert ist. Erfindungsgemäß erfolgt die Auswahl für jedes Entscheidungskriterium mit Hilfe eines Ausschlussverfahrens, bei dem immer mehr Kandidaten auf Grund ihres vorab ermittelten Entscheidungswertes durch ein vorgegebenes Raster herausfallen. Sollte beim Durchlaufen des Verfahrens für ein Entscheidungskriterium keine eindeutige Auswahl möglich sein, wird das Verfahren für ein weiteres Entscheidungskriterium anhand der verbliebenen Kandidaten fortgesetzt, bis lediglich nur noch ein Kandidat für das zu verteilende Grünzeitintervall übrigbleibt. Diesem wird dann die Grünzeit zugeordnet und das Verfahren beginnt von vorne für das nächste zu verteilende Grünzeitintervall.

[0035] Durch die Auswahl eines einzigen Kandidaten in dem erfindungsgemäß verwendeten Kandidatenauswahlverfahren mittels der vorstehend erläuterten, gezielten Auswahl anhand von einem oder mehreren Entscheidungskriterien kann unter anderem eine Verbesserung des zu steuernden Verkehrsflusses, d.h. eine Verbesserung der verkehrlichen Qualität an den Knoten, erzielt werden. Außerdem hat dieses Kandidatenauswahlverfahren eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit gegenüber den bisherigen Verfahren. Insbesondere die gezielte Auswahl eines einzigen verbleibenden Kandidaten anhand von einem oder mehreren Entscheidungskriterien erhöht die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Steuerung im Vergleich zu den bisher eingesetzten Verfahren, die meist auf Basis von komplexen Entscheidungsbäumen die Grünzeitverteilung regelten. Häufig war jedoch auf Grund einer fehlenden Systematik bisher keine eindeutige Auswahl eines einzigen Kandidaten möglich.

[0036] Ein erfindungsgemäßes Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem für die Verkehrssteuerung an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbereich weist dementsprechend zumindest folgende Komponenten auf:

- eine Datenübermittlungsschnittstelle zur Übernahme von Verkehrsdaten aus einer Verkehrsüberwachungseinrichtung,
- eine Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit zur Ermittlung von Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten,
- eine Datenübergabeschnittstelle für die Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten an eine Lichtsignalanlagen-Steuerungseinheit. Die Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit ist dabei so ausgebildet, dass eine Verteilung von Grünzeiten

auf Signalgruppen von einzelnen signalisierten Knoten unter Verwendung eines Kandidatenauswahlverfahrens gemäß vorgegebenen Entscheidungskriterien erfolgt.

[0037] In einem derartigen Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem können die Datenübermittlungsschnittstelle, die Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit und die Datenübergabeschnittstelle sowohl als allein stehende Einzelkomponenten hardware- und/oder softwaretechnisch ausgeführt als auch gemeinsam innerhalb eines elektrotechnischen Prozessorbausteins integriert sein. Sie können ganz oder teilweise auf einem Rechner eines Verkehrssteuerungssystems realisiert sein. Außerdem können die Datenübernahme- bzw. die Datenübergabeschnittstelle sowohl als Hardware in Form von Eingangs- bzw. Ausgangsbuchsen bzw. drahtlosen Schnittstellen eines Gerätes ausgebildet sein als auch in Form von Software bzw. als Kombination von Hard- und Software-Komponenten. Schnittstellen können beispielsweise in Form von reinen Software-Schnittstellen auch direkt Daten von einem Steuerungssystem übernehmen, wenn beispielsweise die Lichtsignal-Steuerungseinrichtung auf dem gleichen Rechner wie das Steuerungssystem angeordnet ist. Die Schnittstellen können weiterhin kombiniert gemeinsam als Input-/Output-Schnittstelle ausgebildet sein.

[0038] Der Aufbau des Lichtsignalanlagen-Steuerungssystems in Form von Software hat den Vorteil einer schnellen und kostengünstigen Realisierung. Daher wird zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bevorzugt ein Computerprogrammprodukt verwendet, welches direkt in einen Prozessor der Rechereinrichtung ladbar ist und Programmcode-Mittel aufweist, um alle Schritte des vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

[0039] Eine solche Softwarekomponente kann nicht nur in einer zentralen Steuerungszentrale implementiert werden. Sondern sie kann zum Beispiel auch in einem dezentralen Dirigenten, d.h. einem Steuergerät, das mehrere benachbarte Knoten übergeordnet steuert, z.B. als Mastersteuergerät, vorhanden sein, insbesondere falls keine Steuerungszentrale vorhanden ist. Daneben ist auch die lokale Verwendung im Steuergerät möglich, wenn die Umlaufzeit des Regelbereichs von außen vorgegeben wird, oder wenn das Steuergerät in beliebigen Umlaufzeiten laufen darf.

[0040] Weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung. Dabei können das erfindungsgemäße Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem oder das Computerprogrammprodukt auch entsprechend den abhängigen Ansprüchen zum Verfahren ausgebildet sein.

[0041] Das gesamte zu verteilende Grünzeitintervall kann grundsätzlich komplett an eine Signalgruppe vergeben werden. In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt aber die Verteilung der Grünzeiten in vorgegebenen Zeitabschnitten, insbesondere bevorzugt sekundenweise, so dass zweckmäßige Grünzeit- bzw. Freigabeintervalle erhalten werden. Eine sekundenweise Grünzeitverteilung ist hinsichtlich des Rechenbedarfs und der Integration in bestehende Systeme vorteilhaft.

[0042] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht den Einsatz von mehreren Entscheidungskriterien, die bei der Kandidatenauswahl berücksichtigt werden können. Dabei ist es vorteilhaft, den einzelnen Entscheidungskriterien Prioritäten zuzuordnen, um dann in dem Verfahren zur Verteilung der Grünzeiten die Entscheidungskriterien gemäß den ihnen zugeordneten Prioritäten systematisch abzuarbeiten. Durch den Einsatz von mehreren Entscheidungskriterien und durch ein entsprechendes Priorisieren hat das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber den bisherigen Verfahren unter anderem den Vorteil, dass relativ schnell und einfach entschieden werden kann, welcher Kandidat die zu verteilende Grünzeit erhält.

[0043] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können die Grünzeiten phasenorientiert oder sperrgruppenorientiert verteilt werden. "Phasenorientiert" heißt zum Beispiel, dass ermittelt wird, welche Phase beziehungsweise die ihr zugeordneten Signalgruppen wie lange freigegeben werden, d.h. "Grün" erhält. "Sperrgruppenorientiert" heißt, dass in einem ersten Schritt berechnet wird, welche Sperrgruppe am meisten Zeit benötigt und in einem zweiten Schritt berechnet wird, welche in der Sperrgruppe enthaltene Signalgruppe am meisten Zeit benötigt. Eine Sperrgruppe besteht aus zeitlich nacheinander freigegebenen Signalgruppen, die zueinander feindlich sind.

[0044] In dem Verfahren werden hierfür für jedes Entscheidungskriterium zu jeder Phase bzw. Sperrgruppe ein oder mehrere Entscheidungstupel, bevorzugt 2-Tupel, bestimmt. Ein Entscheidungstupel besteht aus einem Bezugsobjekt des Entscheidungskriteriums, beispielsweise einer bestimmten Signalgruppe, und einem dazugehörigen Entscheidungswert, der zum Beispiel durch vorgegebene Rechenoperationen für jedes Bezugsobjekt ermittelt werden kann. Mit Hilfe der Entscheidungstupel kann das Verfahren die Verteilung der Grünzeiten auf die einzelnen Phasen bzw. Sperrgruppen durch eine Auswahl der günstigsten Phase bzw. Sperrgruppe vornehmen, indem das vorstehend erläuterte Kandidatenauswahlverfahren so lange durchlaufen wird, bis in einem Entscheidungskriterium nur noch ein Kandidat übriggeblieben ist.

[0045] Bei der vorstehenden Verfahrensführung können zum Beispiel für jedes Entscheidungskriterium die Entscheidungstupel für jede Phase bzw. Sperrgruppe in eine Entscheidungsmatrix eingegeben werden. Diese Entscheidungsmatrix kann dann Zeilen- bzw. Spaltenweise abgearbeitet werden, bis die Phase oder Sperrgruppe gefunden ist, die das jeweilige Grünzeitintervall bekommt. Dadurch wird insbesondere der Blackboxcharakter der bisherigen Verfahren

aufgelöst, der häufig bei Kunden ein Haupthindernisgrund ist, adaptive Verkehrssteuerungsverfahren einzusetzen. Von Vorteil ist es auch, dass die Entscheidungsmatrizen der einzelnen Entscheidungsschritte zum Zwecke der Transparenz mitgeloggt und relativ einfach ausgewertet und interpretiert werden können. So können die Anwender die mitgeschriebenen bzw. mitgeloggtten Matrizen später Zeile für Zeile auswerten.

[0046] Ein weiterer Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Rechenzeit im Vergleich zu den bisherigen Verfahren, zum Beispiel gegenüber den Gradientenabstiegsverfahren, deutlich kürzer ist.

[0047] Als denkbare Alternative zur Entscheidungsmatrix könnte auch ein Entscheidungsbaum verwendet werden, in dem die Entscheidungstapel als Verzweigungen in dem Entscheidungsbaum dargestellt werden. Dieser wird dann schrittweise nach den gleichen Prinzipien wie die Matrix abgearbeitet. So wird zum Beispiel in jedem Entscheidungsknoten des Entscheidungsbaumes über die noch verbleibenden Kandidaten entschieden. Eine einfache mit einer Entscheidungsmatrix vergleichbare Ausführungsform hätte eine einfache Kette von Entscheidungsknoten, an denen jeweils die noch verbleibenden Kandidaten bestimmt werden. Jeder Entscheidungsknoten entspricht einer Zeile der Entscheidungsmatrix. Als Ergebnis wäre auch hier wieder ein Auswahlverfahren möglich in dem nach mehreren Verzweigungsschritten nur noch ein Kandidat übrigbleiben würde, dem dann das jeweilige Grünzeitintervall zugeteilt werden würde.

[0048] In den vorstehenden Verfahren werden bevorzugt als vorgegebene Entscheidungskriterien die minimale Phasendauer, minimale Signalgruppendauer, maximale Phasendauer, maximale Signalgruppendauer, Leistungsfähigkeit der Fahrstreifengruppen bzw. Verteilung von freiem Grün, Zahl der freigegebenen Signalgruppen oder die augenblickliche Phasendauer verwendet. Die Entscheidungskriterien werden besonders bevorzugt in der vorstehend angegebenen Reihenfolge priorisiert, um eine zweckmäßige adaptive Verkehrssteuerung der signalisierten Knoten in einem Regelbereich zu erzielen, in der Randbedingungen gezielt eingehalten und ebenso verschiedene Signalkonstellationen berücksichtigt werden können.

[0049] Um zum Beispiel Fußgängerphasen zu bevorzugen, kann es deshalb zweckmäßig sein, die Zahl der freigegebenen Signalgruppen einer Phase als Entscheidungskriterium mit heranzuziehen. Die augenblickliche Phasendauer kann zum Beispiel auch dazu benutzt werden, um eine möglichst gleichmäßige Grünzeitverteilung bei beliebigen Mehrfachanwürfen wie zum Beispiel Doppelanwürfen, in denen eine Signalgruppe in einem Umlauf zweimal oder mehrfach "Grün" erhält, zu erreichen.

[0050] Falls die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifengruppen ein Entscheidungskriterium ist, kann diese zur Vergabe des freien Grün vorzugsweise je Phase zur Verteilung der Grünzeit unterschiedlich gewichtet werden, sobald die Leistungsfähigkeit des jeweiligen Knotens erreicht ist. Damit kann für bestimmte Fahrstreifengruppen eine größere Freigabezeit erreicht werden. Diese erhöhte Freigabezeit wiederum kann von der Versatzzeitoptimierung vorteilhaft verwendet werden, um die grüne Welle auf Hauptkorridoren zu verbessern, z.B. um zu vermeiden, dass sich Verkehr in Wohngebiete verlagert.

[0051] Alternativ dazu kann die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifengruppen auch mittels eines Auslastungsgrades oder eines Performanceindex der den Fahrstreifengruppen zugeordneten Signalgruppen, z.B. nach Webster (1958), bestimmt werden. Webster verwendet als zu minimierendes Optimierungsziel die Wartezeit d . Diese errechnet sich nach Webster zu:

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)}$$

C

[0052] C ist die Umlaufzeit, q die Verkehrsstärke, x der Auslastungsgrad und λ der Grünzeitanteil an der Umlaufzeit. Dem Fachmann sind weitere verlustzeitbezogene Gütekriterien bekannt, die auf Warteschlangenmodellen basieren. Diese können grob in deterministische und stochastische Warteschlangenmodelle unterschieden werden. Auch Näherungslösungen, die sowohl deterministisches Verhalten als auch stochastisches Verhalten berücksichtigen sind bekannt, wie z.B. aus Kimber, R.H. & Hollis, M., 1979, "Traffic queues and delay at road interjunctions", TRRL Report LR 909, Transport and Road Research Library, Crowthorne.

[0053] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem ersten Schritt eine Grünzeitverteilung zur Bestimmung einer Knoten-Umlaufzeit der jeweiligen signalisierten Knoten in einem Regelbereich vorgenommen. Danach werden in einem zweiten oder späteren Schritt die zuvor ermittelten Knoten-Umlaufzeiten zur Wahl einer Regelbereich-Umlaufzeit des gesamten Regelbereiches herangezogen.

[0054] Bei dieser Verfahrensführung kann zur Ermittlung der Knoten- bzw. Regelbereich-Umlaufzeit ein Trend einer minimalen Knoten-Umlaufzeitwahl und/oder Regelbereich-Umlaufzeitwahl berücksichtigt werden. Somit kann die Re-

gelbereich-Umlaufzeit rechtzeitig angepasst werden, insbesondere für einen schnellen Anstieg der Verkehrsstärke, z.B. während der morgendlichen bzw. abendlichen Verkehrsspitzen.

[0055] Alternativ dazu oder in Kombination kann ein Zeitglied berücksichtigt werden. Ein Zeitglied ist ein Zähler, der zählt, wie oft ein Ereignis bis die Knoten-Umlaufzeit und/oder die Regelbereich-Umlaufzeit wieder geändert werden sollte oder darf. Ein solches Ereignis kann z.B. darin bestehen, dass an einem Knotenpunkt wegen einer Überlastung eigentlich eine längere Knoten-Umlaufzeit anliegen müsste, als sie aktuell vorliegt, oder dass auf eine kürzere Knoten-Umlaufzeit zurückgeschaltet werden könnte, d.h. es handelt sich um eine Art "Umlaufzeitwechsel-Anforderungsereignis". Hierbei gibt es hemmende Zähler, die aussagen, ob in eine neue Regelbereich-Umlaufzeit hinein gewechselt werden darf, und es gibt sperrende Zähler, die aussagen, ob aus einer aktuellen Regelbereich-Umlaufzeit heraus gewechselt werden darf.

[0056] Bevorzugt kann zum Beispiel bei der Ermittlung der Knoten-Umlaufzeit und/oder der Regelbereich-Umlaufzeit ein Zeitglied berücksichtigt werden, währenddessen eine niedrigere Knoten- und/oder Regelbereich-Umlaufzeit mindestens anstehen muss, damit diese in den nächsten Schritten des Steuerungsverfahrens implementiert wird, d.h. bevor in die neue Knoten-Umlaufzeit bzw. Regelbereich-Umlaufzeit umgeschaltet wird. Dadurch kann erreicht werden, dass eine Anpassung der entsprechenden Umlaufzeit nur erfolgen darf, wenn eine niedrigere Umlaufzeit mindestens während eines vorgegebenen Zeitintervalls, z.B. während der letzten n Minuten ($n = 10-20$, $12-18$, oder $14-16$, insbesondere $n = 15$) ausreichend war. Ein ähnliches Zeitglied kann für höhere Umlaufzeiten verwendet werden. Weitere Zeitglieder können verwendet werden um sicherzustellen, dass eine Umlaufzeit, d.h. eine Knoten-Umlaufzeit bzw. eine Regelbereich-Umlaufzeit, eine bestimmte Zeit anstehen muss bevor sie in eine höhere oder eine niedrigere Knoten-Umlaufzeit bzw. Regelbereich-Umlaufzeit geändert werden darf. Dies ist gegebenenfalls auch davon abhängig, ob die Umlaufzeit in den Zählerintervallen zuvor gestiegen oder gefallen ist.

[0057] Alternativ oder zusätzlich kann ein Hystereseglied verwendet werden. Bei einem Hystereseglied werden vorgegebene oder frei wählbare Grenzwerte in Kombination mit oder anstelle der Zeitglieder zur Entscheidungsfindung verwendet.

[0058] Wurde beispielsweise eine höhere Regelbereich-Umlaufzeit bei Überschreiten eines Grenzwerts für die minimale Knotenumlaufzeit gewählt, kann von dieser Regelbereich-Umlaufzeit erst dann in eine niedrigere Regelbereich-Umlaufzeit geschaltet werden, wenn ein Grenzwert für die minimale Knotenumlaufzeit unterschritten wird, der deutlich niedriger als der ist der zuvor überschritten werden hat müssen.

[0059] Der Vorteil ist, dass die üblichen Schwankungen in der Verkehrsnachfrage nicht zu Schwankungen in der Umlaufzeit führen. Deshalb kann eine einfachere Gesamtabstimmung im Regelbereich erreicht werden, was den Verkehrsfluss in der Regel erhöht.

[0060] Alternativ zu der vorstehenden Verfahrensführung kann für die Regelbereich-Umlaufzeitwahl auch ein Sperrgruppenverfahren eingesetzt werden. Damit ist zum Teil der Trend noch besser zu berücksichtigen, als wenn man hierfür mit dem phasenorientierten Auswahlverfahren arbeitet. Dies liegt daran, dass die minimal möglichen Knotenumlaufzeiten beim Sperrgruppenverfahren deutlich geringer sind als mittels der phasenorientierten Grünzeitverteilung, weil das Sperrgruppenverfahren weder die Dauer der Phasenübergänge noch minimale Phasendauern noch sonstige Randbedingungen berücksichtigt außer die Zwischenzeiten zwischen feindlichen Signalgruppen. Durch diese Kombination eines phasenbasierten Grünzeitverteilungsverfahrens zur Ermittlung der jeweiligen Knoten-Umlaufzeiten und dem Sperrgruppenverfahren zur Ermittlung des Trends der minimalen Knotenumlaufzeiten wird ein Prognosewert für die minimale Knotenumlaufzeit ermittelt, wodurch sich gerade in der Morgenspitze proaktiv höhere Umlaufzeiten für den Regelbereich ergeben. Zudem ist auch mit dieser Erweiterung noch ein auszeichnender Grad an Transparenz gewahrt, indem die Prognose für jeden Knoten und seine Phasenfolgen mit ihren Kenngrößen geloggt werden kann. Somit ist mit einer guten Akzeptanz bei den Verkehrsplanern zu rechnen.

[0061] Bei der Wahl der Regelbereich-Umlaufzeit kann die Zahl der zu berücksichtigenden signalisierten Knoten in einem Regelbereich planerisch gewählt werden, so dass für den Verkehr untergeordnete oder unkritische Knoten, zum Beispiel kleinere Kreuzungen oder Einmündungen an Nebenstrecken, nicht relevant werden, da die nicht ausgewählten Knoten nicht mit in die Umlaufzeitwahl einfließen. Ein weiteres Beispiel für einen unkritischen Knoten wäre z.B. ein Fußgängerüberweg mit Doppelanwurf, der rechnerisch relevant werden würde, wenn beide Anwürfe in jedem Umlauf aktiv wären. Dies ist aber gerade in Zeiten mit geringem Fußgängeraufkommen nicht der Fall.

[0062] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen. Es zeigen:

- FIG 1 ein Beispiel für einen signalisierten Knoten mit einer Hauptsignalgruppe SG1 und einer Zusatzsignalgruppe SG2 für die jeweiligen Fahrstreifengruppen FG1 bzw. FG2,
- FIG 2 ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen Lichtsignalanlagen-Steuerungssystems 1 mit einer Datenübermittlungsschnittstelle 10, einer Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit 20 und einer Datenübergabeschnittstelle 30,
- FIG 3 ein Beispiel für eine phasenbasierte Entscheidungsmatrix mit einem Entscheidungskriterium, hier einem Block

zur Verteilung von Grünzeitreserven C_{res} von Fahrstreifengruppen, welche in dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgewertet wird, wobei im ersten Schritt des Verfahrens in die Entscheidungsmatrix für jede der fünf Phasen P1 bis P5 Entscheidungstapel ET aus einem Entscheidungswert W und dem Bezugsobjekt, hier der dazugehörigen Signalgruppe SG1 bis SG7, eingetragen werden,

FIG 4 die gemäß den Richtlinien des erfindungsgemäßen Verfahrens im zweiten Schritt neu sortierte Entscheidungsmatrix aus FIG 3,

FIG 5 ein weiteres Beispiel einer Entscheidungsmatrix, in der neben dem Block zur Verteilung der Grünzeitreserven C_{res} der Fahrstreifengruppen mit fünf Phasen P1 bis P5 und sieben Signalgruppen SG1 bis SG7 zwei weitere Blöcke mit den Entscheidungskriterien Zahl der Signalgruppen $C_{ped}(n)$ in jeder Phase bzw. die augenblickliche Phasendauer C_{double} zur Entscheidungsfindung herangezogen werden,

FIG 6 ein weiteres Beispiel einer Entscheidungsmatrix, in der neben dem Block zur Verteilung der Grünzeitreserven C_{res} der Fahrstreifengruppen mit fünf Phasen P1 bis P5 und sieben Signalgruppen SG1 bis SG7 ein vorrangiger Block mit Randbedingungen ($C_{max}(i,n)$) zur Entscheidungsfindung herangezogen wird,

[0063] In FIG 1 ist ein Beispiel für einen signalisierten Knoten in einem Regelbereich dargestellt. Dieser signalisierte Knoten ist ein Beispiel für einen Knoten mit zwei Fahrstreifengruppen FG1 (Geradeausverkehr) und FG2 (Rechtsabbieger) aus südlicher Richtung. Die Fahrstreifengruppe FG1 für den Geradeausverkehr wird mittels der Hauptsignalgruppe SG1 signalisiert. Die Rechtsabbieger-Fahrstreifengruppe (Fahrstreifengruppe FG2) wird ebenfalls mittels der Hauptsignalgruppe SG1 sowie mittels einer Zusatzsignalgruppe SG2 signalisiert. Die Signalisierung dieser Fahrstreifengruppe umfasst somit zwei Signalgruppen. Die Hauptsignalgruppe wird üblicherweise als dreifeldiger Signalgeber mit Vollscheiben ausgeführt, das Zusatzsignal für Rechtsabbieger als zweifeldiges Signal mit Pfeilen nach rechts.

[0064] Diese schematische Darstellung eines signalisierten Knotens ist nur für die Fahrstreifengruppen aus südlicher Richtung detailliert gezeigt. Die Fahrstreifengruppen aus nördlicher sowie aus östlicher und westlicher Richtung können analog ausgeführt oder aber auch anderweitig signalisiert sein. Zum Beispiel wäre es möglich, dass aus nördlicher Richtung ebenfalls zwei Fahrstreifengruppen mit Haupt- bzw. Zusatzsignal signalisiert sind, während aus östlicher und westlicher Richtung jeweils nur eine Fahrstreifengruppe mit einer Signalgruppe signalisiert wird. Weitere Verkehrsführungen mit einer oder mehreren Fahrstreifengruppen und entsprechenden Signalgruppen sind dem Fachmann bekannt.

[0065] Ein Regelbereich kann einen oder mehrere solcher signalisierten Knoten umfassen, die jeweils verschiedene Fahrstreifengruppen FG und Signalgruppen SG aufweisen. In einem Regelbereich ist es dadurch möglich, die Lichtsignalanlagen nicht nur an einem Knoten zu steuern, sondern auch die Lichtsignalanlagen-Steuerung an mehreren hintereinander folgenden signalisierten Knoten eines Regelbereiches derart abzustimmen, dass eine Verbesserung des Verkehrsflusses im gesamten Regelbereich erreicht wird. Optimal wäre hierbei, wenn auf den Strecken mit dem höchsten Verkehrsaufkommen eine so genannte "Grüne-Welle-Schaltung" erzielt werden könnte.

[0066] Hierfür ist eine Optimierung der Versatzzeiten entscheidend. Die Versatzzeit ist hierbei die Zeit, mit welcher die Phasenfolgen von Signalgruppen an zwei aufeinander folgenden signalisierten Knoten zueinander versetzt sind. Diese Berechnung wird mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Steuerung von Lichtsignalanlagen an einem oder mehreren solcher signalisierten Knoten in einem Regelbereich unterstützt. Genauer gesagt, kann bei der Koordination zweier Knoten die Phasenlänge von bestimmten Phasen gezielt um eine gewisse Zeitspanne, z.B. einige Sekunden, verlängert werden, um den Verkehrsfluss und seinen Koordinierungsgrad über beide signalisierten Knoten zu verbessern.

[0067] Hierfür sind in einem erfindungsgemäßen Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem 1, wie es in der FIG 2 beispielhaft skizziert ist, folgende Einrichtungen vorgesehen:

- eine Datenübermittlungsschnittstelle 10 zur Übernahme von Verkehrsdaten aus einer Verkehrsüberwachungseinrichtung 15,
- eine Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit 20 zur Ermittlung von Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten, insbesondere zur Ermittlung der minimalen Knoten-Umlaufzeit, der Regelbereich-Umlaufzeit und der Versatzberechnung für alle signalisierten Knoten des Regelbereichs, und
- eine Datenübergabeschnittstelle 30 zur Übergabe der zuvor ermittelten Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten an eine Lichtsignalanlagen-Steuerungseinheit 35.

[0068] Die Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit verwendet das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung der Lichtsignal-Steuerungsdaten. Im Folgenden soll ein Ausführungsbeispiel für ein solches Verfahren näher erläutert werden. Insbesondere wird hier eine verbesserte und sehr transparente Methode zur Verteilung der Grünzeiten auf die jeweiligen Phasen erläutert. Ein solches phasenorientiertes Grünzeitverteilungsverfahren kann aber auch, wie schon vorstehend erläutert worden ist, zum Beispiel durch ein sperrgruppenorientiertes Verfahren ersetzt werden.

[0069] In dem Verfahren werden hintereinander mehrere Rechenschritte bzw. Rechenoperationen durchgeführt, in denen zum Beispiel intervallweise eine durch das erfindungsgemäße Verfahren bestimmte Phase um ein bestimmtes

Zeitintervall, hier zum Beispiel eine Sekunde, verlängert wird, bevor das Verfahren für das nächste Zeitintervall erneut durchlaufen wird. Diese Wiederholungen werden so lange durchgeführt, bis eine zuvor ermittelte Regelbereichs-Umlaufzeit, die für alle signalisierten Knoten in dem Regelbereich gleich ist, erreicht wird. Dann ist der Zyklus abgeschlossen und ein weiterer Zyklus beginnt, in dem ebenso wieder die gleichen Rechenschritte bzw. Rechenoperationen wiederholt werden. Dadurch tritt keine Phasenverschiebung auf.

[0070] Um bestimmen zu können, welche Phase verlängert wird, wird eine Entscheidungsmatrix aufgestellt, in der alle Phasen eines signalisierten Knotens spaltenweise aufgetragen werden. In den FIG 3 bis 6 sind beispielhafte Entscheidungsmatrizen gezeigt, die in dem erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden. Dabei ist das Kandidatenauswahlverfahren in mehrere Schritte unterteilt:

Schritt 1:

Füllen der Entscheidungsmatrix mit Entscheidungstupeln.

[0071] Wie aus FIG 3 ersichtlich ist, gibt es je Phase zwei Spalten. Die jeweils linke Spalte enthält den Wert des Entscheidungskriteriums W, die jeweils rechte Spalte das Bezugsobjekt des Entscheidungskriteriums. Die beiden Werte der Spalten einer Phase nennt man auch Entscheidungstupel, da diese in allen Schritten des Auswahlverfahrens miteinander verbunden bleiben.

[0072] In der in FIG 3 gezeigten Entscheidungsmatrix ist das Bezugsobjekt die Nummer der identifizierenden Signalgruppe SG, wenn das Entscheidungskriterium fahstreifengruppenorientiert (z.B. Leistungsfähigkeit) oder signalgruppenorientiert ist (z.B. minimale Signalgruppendauern) ist, oder die Nummer der jeweiligen Phase, wenn das Entscheidungskriterium phasenorientiert ist. Welche Entscheidungskriterien fahstreifengruppenorientiert und welche phasenorientiert sind, ergibt sich aus der weiteren Beschreibung des Ausführungsbeispiels.

[0073] Eine Fahstreifengruppe ist eine Gruppe von Fahstreifen, die identisch signalisiert wird. Ist einer Fahstreifen-Gruppe neben einem Hauptsignal noch ein Zusatzsignal zugeordnet, wie zum Beispiel bei der Fahstreifengruppe FG2 in FIG 1, so wird zur Referenzierung die Nummer des Zusatzsignals verwendet. Die Erkennungszahl EK referenziert den Typ des Entscheidungskriteriums. Daraus ergibt sich, dass die Zahl der Spalten einer Entscheidungsmatrix nach der folgenden Formel berechnet wird:

$$C = 2P + 1$$

C = Zahl der Spalten einer Entscheidungsmatrix,
P = Zahl der Phasen.

[0074] Die in diesem Ausführungsbeispiel eingesetzte Entscheidungsmatrix ist aus Blöcken von unterschiedlichen Arten von Entscheidungskriterien aufgebaut, die nach ihrer vorgegebenen Priorität sortiert sind. Diese werden zeilenweise in die Matrix eingetragen. Am Anfang wird der Block mit dem Entscheidungskriterium mit höchster Priorität eingetragen, gefolgt von den Blöcken mit den Entscheidungskriterien mit geringerer Priorität in absteigender Reihenfolge. Jeder Block kann in eine oder mehrere Zeilen unterteilt sein. Die Zahl der Zeilen hängt vom jeweiligen Entscheidungskriterium ab und wird gegebenenfalls bei der Beschreibung der einzelnen Entscheidungskriterien näher erläutert. In den FIG 3 bis 6 sind nicht alle Blöcke dargestellt, da die Matrizen sonst zu groß werden. Deshalb sind aus Übersichtlichkeitsgründen alle Blöcke weggelassen worden, die bei der jeweils nachfolgend konkret zur Figur erläuterten Entscheidung nicht berücksichtigt werden müssen.

Minimale Phasendauer

[0075] Der erste Block kann z.B. aus einer Zeile mit dem Entscheidungskriterium $C_{\min}$ für die minimalen Phasendauern bestehen (in den FIG 3 bis 6 nicht dargestellt). Der Block für minimale Phasendauern bekommt die Erkennungszahl 1 und besteht aus einer Zeile. Die minimale Phasendauer wird nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$C_{\min}(p, n) = d_{\text{act}}(p, n) - d_{\min}(p)$$

$C_{\min}$ = minimale Phasendauer, [s]

d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 d_{min} = minimale Grünzeit, [s]
 n = augenblicklicher Zeitschritt
 p = Phase.

[0076] Werden die Minimalkriterien nicht eingehalten, so ergibt sich für die augenblickliche minimale Phasendauer $C_{min}(p,n)$ ein negativer Wert, der dann in der Matrix in der Spalte der jeweiligen Phase eingetragen wird. Andernfalls würde sich ein positiver Wert ergeben, anstelle dessen aber der Standardwert 99 in die Matrix eingetragen wird.

Minimale Signalgruppendauer

[0077] Der zweite Block kann z.B. aus bis zu S Zeilen für minimale Signalgruppendauern bestehen (in den FIG 3 bis 6 nicht dargestellt). S ist die Anzahl der Signalgruppen. Das Entscheidungskriterium der minimalen Signalgruppendauer bekommt die Erkennungszahl 2 und wird folgendermaßen berechnet.

$$C_{min}(s, n) = d_{act}(s, n) - d_{min}(s)$$

$C_{min}(s,n)$ = minimale Signalgruppendauer, [s]
 d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 d_{min} = minimale Grünzeit, [s]
 s = Nummer der Signalgruppe
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

[0078] Werden die Minimalkriterien nicht eingehalten, so ergibt sich für die augenblickliche minimale Signalgruppendauer $C_{min}(s,n)$ ein negativer Wert, der dann in der Matrix in der Spalte der jeweiligen Phase und in dem Entscheidungstupel für die jeweilige Signalgruppe eingetragen wird. Andernfalls würde sich ein positiver Wert ergeben, anstelle dessen aber der Standardwert 99 in die Matrix eingetragen wird.

Maximale Phasendauer

[0079] Der dritte Block kann aus einer Zeile mit dem Entscheidungskriterium C_{max} für die maximalen Phasendauern bestehen (in den FIG 3 bis 6 nicht dargestellt). Die Erkennungszahl für die maximale Phasendauer ist 3. Die maximale Phasendauer C_{max} wird folgendermaßen berechnet:

$$C_{max}(p, n) = d_{act}(p, n) - d_{max}(p) + 100$$

C_{max} = maximale Phasendauer, [s]
 d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 d_{max} = maximale Grünzeit, [s]
 n = augenblicklicher Zeitschritt
 p = Phase.

[0080] Werden die Maximalkriterien nicht oder gerade noch eingehalten, so ergibt sich für die maximale Phasendauer $C_{max}(p,n)$ ein Wert größer oder gleich 100, der dann in die Matrix übernommen wird. Andernfalls würde sich ein Wert kleiner 99 ergeben, anstelle dessen aber der Standardwert 99 in die Matrix eingetragen wird.

Maximale Signalgruppendauer

[0081] Der vierte Block (siehe z.B. FIG 6) besteht wiederum aus bis zu S Zeilen für maximale Signalgruppendauern. S ist die Anzahl der Signalgruppen. Das Entscheidungskriterium der maximalen Signalgruppendauer bekommt die

Erkennungszahl 4 und wird folgendermaßen berechnet.

$$C_{\max}(s, n) = d_{\text{act}}(s, n) - d_{\max}(s) + 100$$

$C_{\max}(s, n)$ = maximale Signalgruppendauer, [s]
 d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 $d_{\min}$ = minimale Grünzeit, [s]
 s = Nummer der Signalgruppe
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

[0082] Werden die Maximalkriterien nicht oder gerade noch eingehalten, so ergibt sich für die maximale Signalgruppendauer $C_{\max}(s, n)$ ein Wert größer oder gleich 100, der dann in der Matrix in der Spalte der jeweiligen Phase und in dem Entscheidungstupel für die jeweilige Signalgruppe eingetragen wird. Andernfalls würde sich ein Wert kleiner 99 ergeben, anstelle dessen aber der Standardwert 99 in die Matrix eingetragen wird.

Grünzeitreserve

[0083] Der fünfte Block (siehe FIG 3 bis 6) enthält bis zu L Zeilen für die Grünzeitreserven der Fahrstreifengruppen. L ist hierbei die Zahl der getrennt signalisierten Fahrstreifengruppen 1. Dieses Entscheidungskriterium wird als erstes zur Sicherung der Leistungsfähigkeit eingesetzt. Das Entscheidungskriterium C_{res} zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit berechnet sich dabei nach folgender Formel:

$$C_{\text{res}}(l, n) = \frac{d_{\text{act}}(l, n) - d_{\text{nec}}(l, n)}{d_{\text{nec}}(l, n)}$$

C_{res} = Grünzeitreserve
 d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 d_{nec} = notwendige Grünzeit, [s]
 l = Fahrstreifengruppe
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

[0084] Die notwendige Grünzeit d_{nec} berechnet sich zu:

$$d_{\text{nec}}(l, n) = \frac{q(l) \cdot tc(n)}{\text{cap}(l) \cdot \text{sat}(l)}$$

d_{nec} = notwendige Grünzeit, [s]
 $q(l)$ = effektive Verkehrsaufkommen, [Fahrzeuge/h]
 $tc(n)$ = augenblickliche Umlaufzeit, [s]
 $\text{cap}(l)$ = Kapazität der Fahrstreifengruppe 1
 $\text{sat}(l)$ = Auslastungsgrad der Fahrstreifengruppe 1, [Fahrzeuge/h].

[0085] Besitzt eine Fahrstreifengruppe mehr als eine Signalgruppe, so werden die Grünzeiten der Signalgruppen addiert. Die erhaltenen Werte für das Entscheidungskriterium der Grünzeitreserve C_{res} werden wiederum als Entscheidungstupel ET für jede der Phasen in die jeweiligen Zeilen der Matrix eingetragen. Die Erkennungszahl für das Entscheidungskriterium ist 5 (vgl. Entscheidungsmatrix in FIG 3).

[0086] Jedoch kann das Entscheidungskriterium der Grünzeitreserve C_{res} auch wegfallen und durch das Entscheidungskriterium für Freies Grün C_{free} (nicht in den Figuren dargestellt) ersetzt werden. Dieses wird anstelle des Entscheidungskriteriums für die Grünzeitreserve verwendet, wenn die Entscheidungswerte der Leistungsfähigkeit für alle Fahr-

streifengruppen bzw. die Grünzeitreserve größer oder gleich null sind. Das Freie Grün eines signalisierten Knotens kann als die Differenz zwischen der Regelbereichs-Umlaufzeit und der minimalen notwendigen Knoten-Umlaufzeit der Phasenfolge des jeweiligen signalisierten Knotens definiert werden. Die Erkennungszahl für das Freie Grün ist 6.

[0087] Die Vergabe des Freien Grün C_{free} wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$C_{\text{free}}(l, n) = \frac{d_{\text{act}}(l, n) - \text{fac}(p) \cdot d_{\text{nec}}(l, n)}{\text{fac}(p) \cdot d_{\text{nec}}(l, n)}$$

C_{free} = Freies Grün, [s]
 d_{act} = aktuelle Grünzeit, [s]
 d_{nec} = notwendige Grünzeit, [s]
 $\text{fac}(p)$ = Phasenfaktor für Phase p
 l = Fahrstreifengruppe
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

[0088] Der Phasenfaktor $\text{fac}(p)$ ist je Phase parametrierbar. Wird eine Fahrstreifengruppe in mehreren Phasen freigegeben, so ist die phasenbezogene Grünzeitreserve der Fahrstreifengruppe in unterschiedlichen Phasen unterschiedlich. Entsprechendes gilt auch für konkurrierende bzw. feindliche Fahrstreifengruppen. Dadurch kann das Freie Grün mittels Parametrierung des Phasenfaktors $\text{fac}(p)$ gezielt bestimmten Phasen zugeordnet werden.

Zahl der Signalgruppen

[0089] Der sechste Block (siehe z.B. FIG 5) besteht aus einer Zeile zur bevorzugten Verteilung des Grüns an Phasen mit mehr Signalgruppen. Dadurch wird, wenn es z.B. zwei Phasen gibt, die sich bezüglich der Signalgeber für die Fahrstreifen, so genannte KFZ-Signale, nicht unterscheiden, bevorzugt die Phase verlängert werden, welche die Fußgängersignale mit beinhaltet. Die Erkennungszahl für das Entscheidungskriterium der Zahl der Signalgruppen ist 7.

[0090] Dieses Entscheidungskriterium für die Zahl der Signalgruppen, auch Entscheidungskriterium für die Fußgängerphasen genannt, wird mit C_{ped} gekennzeichnet und kann folgendermaßen berechnet werden:

$$C_{\text{ped}}(n) = 100 - S(p)$$

C_{ped} = Entscheidungskriterium für die Zahl der Phasen
 $S(p)$ = Zahl der in Phase p freigegebenen Signalgruppen
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

Augenblickliche Phasendauer

[0091] Der siebte Block (siehe z.B. FIG 5) besteht aus einer Zeile mit den augenblicklichen Phasendauern. Dieses Entscheidungskriterium dient zur gleichmäßigen Aufteilung der Grünzeit auf Phasen bei Mehrfachanwürfen, hier Doppelanwürfen. Das Entscheidungskriterium C_{double} errechnet sich zu:

$$C_{\text{double}}(n) = d(p, n)$$

C_{double} = Entscheidungskriterium für die augenblickliche Phasendauer, [s]
 $d(p, n)$ = augenblickliche Phasendauer der Phase p, [s]
 n = augenblicklicher Zeitschritt.

[0092] Insgesamt ergeben sich aus den sieben Blöcken einer erfindungsgemäß eingesetzten Entscheidungsmatrix bis zu R Zeilen, mit $R = 2S + L + 4$.

[0093] Entscheidungswerte, die für eine Phase nicht relevant sind oder nicht existieren, werden mit dem Wert 99

eingetragen. Damit sind in jeder Spalte (Phase) zu jeder Zeile entsprechende Entscheidungstupel festgelegt, die im nächsten Schritt dann zur Verteilung der Grünzeit auf eine Phase verwendet werden.

Schritt 2

[0094] Im nächsten Schritt des Auswahlverfahrens auf Basis einer Entscheidungsmatrix, wie sie in FIG 3 für den Fall des Blockes 5 gezeigt ist, werden die Einträge der Spalten innerhalb der Blöcke für jede Phase separat aufsteigend sortiert. Das heißt, die Entscheidungstupel in jeder Phase werden, beginnend mit dem niedrigsten Wert und endend mit dem höchsten Wert, umsortiert. Zeilen, die anschließend nur mit den Werten 99 belegt sind, werden gelöscht. Die umsortierte Entscheidungsmatrix aus FIG 3 ist in FIG 4 gezeigt. Wie dort zu sehen ist, vereinfacht sich die Entscheidungsmatrix deutlich, da einige der Zeilen schon weggefallen sind.

[0095] Bei dem Umsortieren der Entscheidungstupel ist zu beachten, dass die Reihenfolge der Blöcke nicht geändert wird, sondern dieses Umsortieren nur für jeden Block separat durchgeführt wird.

Schritt 3

[0096] Die Reihenfolge der Blöcke selber bestimmt die Abfolge und die Wichtigkeit, d.h. die Priorität, der unterschiedlichen Arten von Entscheidungskriterien.

[0097] Das heißt, dass primär die minimalen Phasendauern und Signalgruppendauern eingehalten werden, die fixe Randbedingungen sind. So kann zum Beispiel den Fußgängern genügend Zeit eingeräumt werden, die gegenüberliegende Straßenseite zu erreichen. Auch werden hier die erforderlichen Räumzeiten und Umschaltzeiten für den signalisierten Knoten eingehalten.

[0098] Als nächste Priorität werden die maximalen Phasendauern und Signalgruppendauern eingehalten. Folglich ist es auch möglich, dass durch die Einhaltung der Minimalbedingungen die Maximalbedingungen einzelner Phasen oder Signalgruppen verletzt werden können.

[0099] Als weitere Priorität wird die Leistungsfähigkeit bzw. das Freie Grün berücksichtigt. Durch die Einhaltung der Minimal- und Maximalbedingungen erreichen gegebenenfalls einzelne Signalgruppen nicht ihre Leistungsfähigkeit.

[0100] Falls danach die Phase noch nicht eindeutig feststeht, werden die Phasen mit der höchsten Signalgruppenzahl (z.B. die Fußgängerphasen) bevorzugt.

[0101] Als eine weitere - beim hier erläuterten Ausführungsbeispiel die letzte - Priorität können die Phasen mit der geringsten Phasendauer bevorzugt werden. Dies ist insbesondere bei Mehrfachanwürfen ein Entscheidungskriterium.

[0102] Im dritten Schritt werden die vorstehenden Entscheidungskriterien der Reihe nach, d.h. in der Reihenfolge ihrer Prioritäten, abgearbeitet. Da die Zeilen, in denen alle Entscheidungswerte 99 waren, gestrichen worden sind, kann es dazu kommen, dass manche Blöcke vor der Entscheidungsfindung schon weggefallen und in diesem Schritt nicht mehr zu beachten sind. Deshalb kann es auch sein, dass alle Randbedingungen wie die Minimalbedingungen und Maximalbedingungen der ersten vier Blöcke nicht zur Entscheidung herangezogen werden. Dies ist zum Beispiel in der in FIG 4 gezeigten Entscheidungsmatrix der Fall. Hier ist der erste, relevante Block die Grünzeitreserve.

[0103] Die Entscheidungsfindung erfolgt dann zeilenweise, und zwar wird nach dem kleinsten Wert der Zeile gesucht. Gibt es schon in der ersten Zeile nur genau eine Phase, der alleine der kleinste Entscheidungswert zugewiesen worden ist, dann ist die Entscheidungsfindung schon nach der ersten Zeile abgeschlossen.

[0104] Gibt es hingegen zwei Phasen, denen der kleinste Wert zugewiesen worden ist, dann geht die Entscheidungsfindung in der nächsten Zeile auf Basis dieser zwei Phasen weiter. Analog wird dies bei drei oder mehreren gleichwertigen Phasen durchgeführt. Ist in der nächsten Zeile dann eine von diesen Phasen die mit dem kleinsten Wert, dann endet die Entscheidungsfindung in dieser Phase.

[0105] Wenn immer noch keine Entscheidung gefunden worden ist, geht man in die nächste Zeile, bis nur eine Phase gefunden worden ist, die in einer der nachfolgenden Zeilen den kleinsten Entscheidungswert zugewiesen bekommen hat. Sollten alle Zeilen eines Entscheidungskriteriums abgearbeitet sein, ohne dass eine Entscheidung über dieses Auswahlverfahren gefallen ist, wird im nächsten Block mit dem Entscheidungskriterium niedrigerer Priorität nach dem gleichen Schema weiter gearbeitet.

[0106] Gibt es nach der letzten Zeile immer noch mehrere Kandidaten, so erhält die Sekunde die Phase, die innerhalb der Phasenfolge als erstes kommt. Somit führt das Verfahren zu einer eindeutigen Kandidatenauswahl über einen Entscheidungspfad mit fallender Priorität der Entscheidungskriterien. Das Besondere an diesem Verfahren ist die klare Transparenz, die durch die hohe Systematik des Kandidatenauswahlverfahrens gegeben ist. So kann man anhand der mitgeloggtten Matrizen sogar zu einem späteren Zeitpunkt noch herauslesen, welche Phase auf Grund welches Entscheidungskriteriums das jeweilige Grünzeitintervall bekommen hat.

[0107] Das vorstehend detaillierter erläuterte Kandidatenauswahlverfahren auf Basis einer Entscheidungsmatrix kann man auch durch den folgenden Algorithmus für die Grünzeitverteilung definieren:

1. Initialisiere die Signalgruppendauern etc. entsprechend der Länge der Phasenübergänge und der minimalen Phasendauern entsprechend der Versorgung.
2. Iterativ je zu verteilernder Zeiteinheit, in dem Beispiel je Sekunde:

- 2.1 Berechne die notwendige Grünzeit und Reserve je Fahrstreifengruppe.
- 2.2 Ermittle die Entscheidungsmatrix.
- 2.3 Gib die Sekunde der Phase, die sie entsprechend der Entscheidungsmatrix am meisten benötigt.
- 2.4 Erhöhe die Grünzeit der in der Phase enthaltenen Signalgruppen um eins.

[0108] Die Entscheidungsfindung mittels der Entscheidungsmatrix (Schritt 2.3 des vorstehenden Algorithmus) funktioniert so:

1. Initialisierung: Alle Phasen der Phasenfolge sind mögliche Kandidaten zur Vergabe der Sekunde.
2. Bis nur noch ein Kandidat übrig ist oder alle Zeilen abgearbeitet sind:

- 2.1 Nimm die nächste Zeile der Entscheidungsmatrix.
- 2.2 Ermittle den kleinsten Entscheidungswert der Zeile.
- 2.3 Ermittle aus der bisherigen Kandidatenmenge die Phasen, die den kleinsten Entscheidungswert besitzen; diese Phasen sind die neue Kandidatenmenge.

[0109] Ein zweites Ausführungsbeispiel ist in FIG 5 gezeigt.

[0110] In der Entscheidungsmatrix in FIG 5 sind neben dem Block zur Verteilung der Grünzeitreserven C_{res} der Fahrstreifengruppen zwei weitere Blöcke mit den Entscheidungskriterien "Zahl der Signalgruppen $C_{ped}(n)$ in jeder Phase" bzw. "augenblickliche Phasendauer C_{double} " zur Entscheidungsfindung angeführt. Da nach der Umsortierung des Blockes C_{res} die Phasen P1 und P2 auf Grund des identischen kleinsten Wertes in der ersten Zeile und in der dritten Zeile noch nicht ausgeschieden sind, muss eine Auswahl des geeigneten Kandidaten in einem Block für ein Entscheidungskriterium niedriger Priorität gefunden werden. In diesem Fall ist dies erst im Falle der augenblicklichen Phasendauer der Fall.

[0111] Demnach bekommt in diesem Ausführungsbeispiel letztendlich die Phase P1 die Sekunde zugeteilt. Hierbei ist anzumerken, dass die Phasen P3 bis P5 schon in der ersten Zeile der Entscheidungsmatrix ausgeschlossen wurden und alle übrigen Zeilen dieser Matrix auf das weitere Auswahlverfahren keinen Einfluss mehr hatten. Dies gilt auch, wenn ein Wert kleiner als in Phase P1 oder P2 wäre.

[0112] Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in FIG 6 gezeigt.

[0113] FIG 6 zeigt eine Entscheidungsmatrix, in der neben dem Block zur Verteilung der Grünzeitreserven C_{res} der Fahrstreifengruppen ein vorrangiger Block mit der Randbedingung der maximalen Signalgruppendauer $C_{max}(i,n)$ zur Entscheidungsfindung herangezogen wird. In diesem Beispiel scheidet aufgrund dessen, dass die Signalgruppe SG5 schon den Maximalwert von 5 Sekunden erreicht hat, die Phase 2 aus der weiteren Entscheidungsfindung aus. Die Berechnung des Entscheidungswertes W für die Signalgruppe SG5 erfolgte als $5 - 5 + 100 = 100$. Nachdem noch keine weitere Signalgruppe den Maximalwert erreicht hat, wurde der Wert für alle als 99 festgelegt.

[0114] Aus Zeile 2 geht damit hervor, dass die Phase P1 hier die zusätzliche Grünzeit von 1 Sekunde erhält, weil diese bezüglich der restlichen Phase P1, P3, P4 und P5 den kleinsten Wert in der Zeile 2 der Entscheidungsmatrix, dem Block für die Grünzeitreserve C_{res} aufweist. Somit endet diesmal die Entscheidung schon nach der zweiten Zeile, da ein Kandidat gefunden wurde.

[0115] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei dem vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahren sowie bei dem dargestellten Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Insbesondere kann die Entscheidungsmatrix durch einen entsprechenden Entscheidungsbaum ersetzt werden, der auf Basis der gleichen systematischen Entscheidungskriterien, wie sie für die Matrix definiert wurden, sowie einer entsprechenden Prioritätsliste eine zuverlässige Kandidatenauswahl ermöglicht. Ein solcher Baum kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn sich die Entscheidungsfindung nicht mehr linear beschreiben lässt. Ein solcher Fall könnte dann eintreten, wenn ein Steuergerät mehrere Teilknoten steuert, die zwar in einem Signalprogramm laufen und damit z.B. gleichzeitig umgeschaltet werden, die aber innerhalb der Teilknoten parallele Phasenfolgen erlauben. Die Optimierung dieser parallelen Phasenfolgen könnten in parallelen Zweigen des Entscheidungsbaumes optimiert werden. Alternativ könnte ein solcher Fall auch mittels mehrerer Entscheidungsmatrizen abgebildet werden, die aber jeweils abhängig voneinander abgearbeitet werden müssen um sicherzustellen, dass die Lösungen für die Teilknoten zueinander konsistent sind und in einem Signalprogramm implementiert werden können. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Außerdem können "Einheiten" aus einer oder mehreren, auch räumlich verteilt angeordneten Komponenten bestehen.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Steuerung von Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbereich, wobei eine Verteilung von Grünzeiten auf Signalgruppen (SG) der einzelnen signalisierten Knoten mittels eines Kandidatenauswahlverfahrens gemäß einer Anzahl von vorgegebenen Entscheidungskriterien erfolgt.
- 10 2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Verteilung der Grünzeiten in vorgegebenen Zeitabschnitten, vorzugsweise sekundenweise, erfolgt.
- 15 3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei bei Einsatz von mehreren Entscheidungskriterien diesen Prioritäten zugeordnet werden und während der Verteilung der Grünzeiten die Entscheidungskriterien gemäß den ihnen zugeordneten Prioritäten abgearbeitet werden.
- 20 4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Grünzeiten phasenorientiert oder sperrgruppenorientiert verteilt werden und dafür für jedes Entscheidungskriterium zu jeder Phase (P) bzw. Sperrgruppe ein oder mehrere Entscheidungstupel (ET), bevorzugt 2-Tupel, bestimmt werden, mit deren Hilfe das Verfahren die Verteilung der Grünzeiten auf die einzelnen Phasen bzw. Sperrgruppen durch eine Auswahl der begünstigten Phase bzw. Sperrgruppe vornimmt.
- 25 5. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei für jedes Entscheidungskriterium die Entscheidungstupel (ET) für jede Phase (P) bzw. Sperrgruppe in eine Entscheidungsmatrix eingegeben werden, die in dem Kandidatenauswahlverfahren zeilen- bzw. spaltenweise abgearbeitet wird.
- 30 6. Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, wobei die Entscheidungstupel (ET) Verzweigungen in einem Entscheidungsbaum darstellen, der dann schritt- bzw. verzweigungsweise abgearbeitet wird.
- 35 7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eines oder mehrere der vorgegebenen Entscheidungskriterien die minimale Phasendauer, minimale Signalgruppendauer, maximale Phasendauer, maximale Signalgruppendauer, Leistungsfähigkeit von Fahrstreifengruppen, Verteilung von freiem Grün, Zahl der freigegebenen Signalgruppen oder die augenblickliche Phasendauer ist/sind.
- 40 8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifengruppen ein Entscheidungskriterium ist und diese je Phase zur Verteilung der Grünzeit unterschiedlich gewichtet wird.
- 45 9. Verfahren gemäß Anspruch 7 oder 8, wobei die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifengruppen ein Entscheidungskriterium ist und diese mittels eines Auslastungsgrades oder eines Performanceindex der den Fahrstreifengruppen (FG) zugeordneten Signalgruppen (SG) bestimmt wird.
- 50 10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren erst eine Grünzeitverteilung zur Bestimmung einer Knoten-Umlaufzeit der jeweiligen signalisierten Knoten in einem Regelbereich vornimmt und diese Knoten-Umlaufzeiten zur Wahl einer Regelbereich-Umlaufzeit des gesamten Regelbereichs herangezogen werden.
- 55 11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei bei der Ermittlung einer Knoten-Umlaufzeit und/oder Regelbereich-Umlaufzeit ein Trend einer minimalen Knoten-Umlaufzeit und/oder Regelbereich-Umlaufzeitwahl berücksichtigt wird.
12. Verfahren gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei bei der Ermittlung einer Knoten-Umlaufzeit und/oder Regelbereich-Umlaufzeit ein Zeitglied und/oder Hystereseglied berücksichtigt wird.
13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die zur Wahl der Regelbereich-Umlaufzeit zu berücksichtigenden signalisierten Knoten eines Regelbereichs planerisch gewählt werden.
14. Lichtsignalanlagen-Steuerungssystem (1) für die Verkehrssteuerung an einem oder mehreren signalisierten Knoten in einem Regelbereich, mindestens aufweisend:
 - eine Datenübermittlungsschnittstelle (10) zur Übernahme von Verkehrsdaten aus einer Verkehrsüberwachungseinrichtung (15),

EP 2 492 886 A1

- eine Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit (20) zur Ermittlung von Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten,
- eine Datenübergabeschnittstelle (30) für die Lichtsignalanlagen-Steuerungsdaten an eine Lichtsignalanlagen-
Steuerungseinheit (35),
wobei die Verkehrsdaten-Verarbeitungseinheit (20) so ausgebildet ist, dass eine Verteilung von Grünzeiten auf
Signalgruppen (SG) der einzelnen signalisierten Knoten unter Verwendung eines Kandidatenauswahlverfahrens gemäß einer Anzahl von vorgegebenen Entscheidungskriterien erfolgt.

15. Computerprogrammprodukt, welches direkt in einen Prozessor einer Rechneinrichtung ladbar ist, mit Programmcode-Mitteln, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.

FIG 1

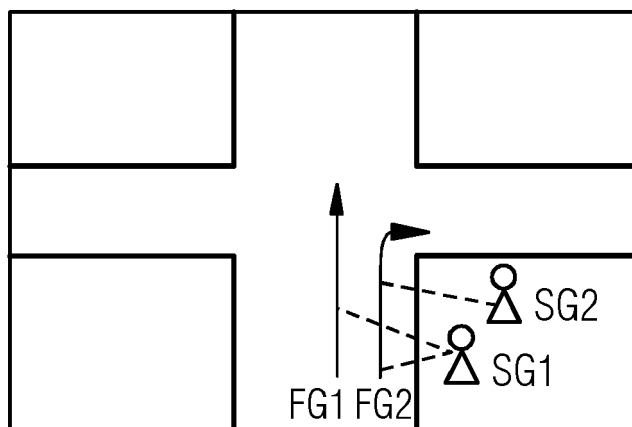


FIG 2

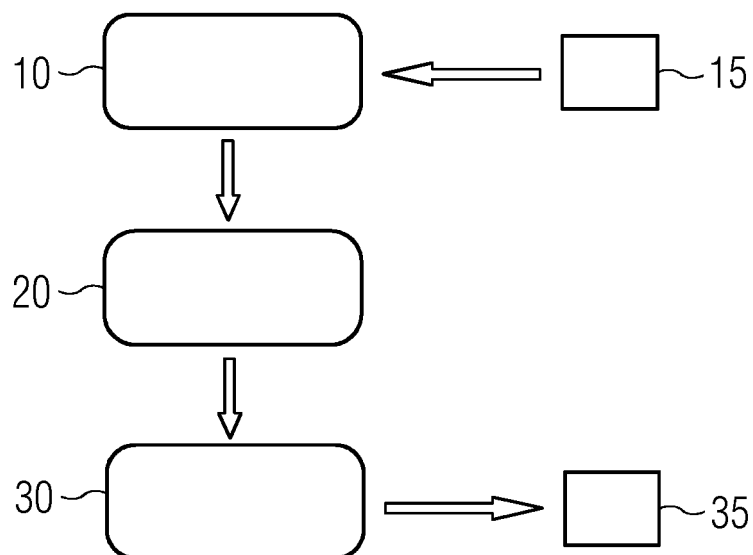


FIG 3

	P1		P2		P3		P4		P5	
	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG
C _{res}	ET 0.368	1	0.368	1	99	99	99	99	0.368	1
	99	99	99	99	99	99	99	99	-0.245	2
	99	99	99	99	1.83	3	1.83	3	99	99
	-0.263	4	-0.263	4	99	99	99	99	99	99
	99	99	1.5	5	99	99	99	99	99	99
	99	99	99	99	1.08	7	1.08	7	99	99

FIG 4

	P1		P2		P3		P4		P5	
	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG
C _{res}	-0.263	4	-0.263	4	1.08	7	1.08	7	-0.245	2
	0.368	1	0.368	1	1.83	3	1.83	3	0.368	1
	99	99	1.5	5	99	99	99	99	99	99

ET

FIG 5

	P1		P2		P3		P4		P5	
	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG
C_{res}	-0.263	4	-0.263	4	1.08	7	1.08	7	-0.245	2
	0.368	1	0.368	1	1.83	3	1.83	3	0.368	1
	1.5	5	1.5	5	99	99	99	99	1.5	5
$C_{ped(n)}$	96	1	96	2	97	3	98	4	97	5
C_{double}	0	1	2	2	0	3	2	4	5	5

ET

FIG 6

	P1		P2		P3		P4		P5	
	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG	W	SG
$C_{max(s,n)}$	99	99	100	5	99	99	99	99	99	99
ET C_{res}	-0.263	4	-0.263	4	1.08	7	1.08	7	-0.245	2
	0.368	1	0.368	1	1.83	3	1.83	3	0.368	1
	99	99	1.5	5	99	99	99	99	99	99



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 15 6341

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	PENG XIAOHONG ET AL: "Two-Stage Fuzzy Logic Controller Based on Adjustable Phase Sequence for Urban Traffic Intersection", MEASURING TECHNOLOGY AND MECHATRONICS AUTOMATION, 2009. ICMTMA '09. INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11. April 2009 (2009-04-11), Seiten 610-613, XP031511743, DOI: 10.1109/ICMTMA.2009.394 ISBN: 978-0-7695-3583-8	1,2,4,5, 7,11-15	INV. G08G1/07 G08G1/081
Y	* das ganze Dokument *	3,6,8-10	
X	EP 2 261 876 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15. Dezember 2010 (2010-12-15)	1,2,4,5, 7,11-15	
Y	* Zusammenfassung *	3,8-10	
A	* Absätze [0003], [0008] - [0010], [0012], [0017], [0018], [0020] - [0024] *	6	
	* Ansprüche 1-10 *		
	* Abbildung 2 *		

X,D	US 2009/322561 A1 (NOBUYUKI MORIOKA (AU) ET AL) 31. Dezember 2009 (2009-12-31)	1-5,7-9, 11-15	G08G
Y	* Zusammenfassung *	6	
	* Abbildungen 1, 2a *		
	* Absätze [0003], [0013], [0018], [0023], [0025], [0026], [0031], [0064], [0065], [0071], [0074], [0075], [0088], [0089], [0098] *		
	* Ansprüche 1,2,11-13,19,20,29-31 *		

	-/--		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		20. Juni 2012	
		Prüfer	
		Quartier, Frank	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
O : mündliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 15 6341

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X A	US 2002/116118 A1 (STALLARD CHARLIE MONROE [US] ET AL) 22. August 2002 (2002-08-22) * Zusammenfassung * * Abbildungen 2-4,6,11 * * Absätze [0003], [0011], [0013], [0016], [0043], [0044], [0069], [0071], [0074], [0076], [0089], [0090], [0093] * * Ansprüche 1,3,4,9,18 * -----	1-5,7, 11-15 6,8-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 20. Juni 2012	Prüfer Quartier, Frank
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 15 6341

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-06-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2261876 A1	15-12-2010	AT 557380 T DE 102009022833 A1 EP 2261876 A1	15-05-2012 09-12-2010 15-12-2010
US 2009322561 A1	31-12-2009	AU 2009202225 A1 CN 101599219 A EP 2187369 A2 US 2009322561 A1	24-12-2009 09-12-2009 19-05-2010 31-12-2009
US 2002116118 A1	22-08-2002	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- WO 9734274 A1 [0008]
- EP 0886845 A1 [0008]
- US 20090322561 A1 [0009]
- WO 2010040649 A2 [0010]
- DE 102005023742 B4 [0012]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **XIAOHONG, PENG et al.** Twostage fuzzy logic controller based on adjustable phase sequence for urban traffic intersection. *IEEE International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, April 2009, 610-613 [0008]
- **HUANG, BO et al.** Modeling of urban traffic systems based on fluid stochastic petri nets. *IEEE fourth International Conference on Natural Computation*, Oktober 2008, 149-153 [0011]
- **KIMBER, R.H. ; HOLLIS, M.** Traffic queues and delay at road interjunctions. *TRRL Report LR 909, Transport and Road Research Library*, 1979 [0052]