



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.02.2019 Patentblatt 2019/06

(51) Int Cl.:
G08G 1/08 (2006.01) G08G 1/0967 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18186211.1**

(22) Anmeldetag: **30.07.2018**

(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
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Depeweg, Stefan**
81373 München (DE)
• **Frank, Harald**
85635 Höhenkirchen-Siegertsbr (DE)
• **Grothmann, Ralph**
27356 Rotenburg (DE)
• **Rudolph, Felix**
81549 München (DE)
• **Sterzing, Volkmar**
85579 Neubiberg (DE)
• **Tokic, Michel**
88069 Tettnang (DE)
• **Vogl, Stefanie**
94357 Konzell (DE)

(30) Priorität: **02.08.2017 DE 102017213350**

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

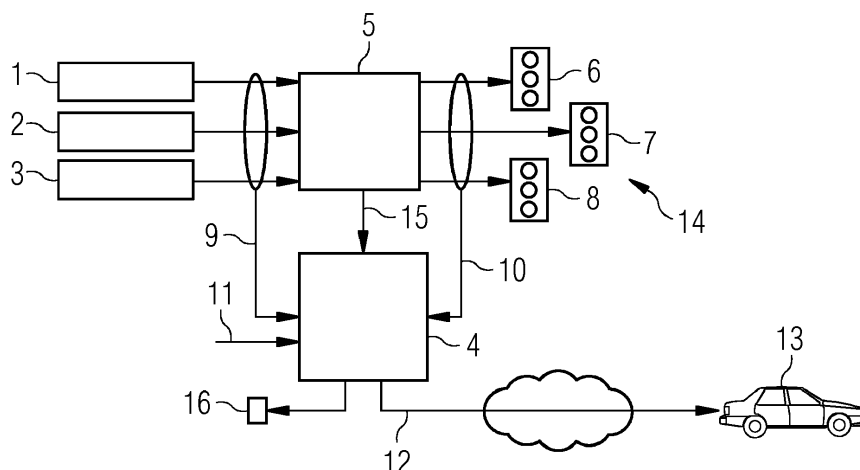
(54) **VERFAHREN ZUR VORHERSAGE EINES SCHALTZEITPUNKTES EINER SIGNALGRUPPE EINER SIGNALANLAGE**

(57) Verfahren zur Vorhersage eines Schaltzeitpunktes einer Signalgruppe einer Signalanlage von einem Signalzustand in einen zeitlich folgenden Signalzustand zur Steuerung eines Verkehrsflusses einer Straße mithilfe einer Recheneinheit mit folgenden Verfahrensschritten:

Prognostizieren des Schaltzeitpunktes von dem Signalzustand zu dem folgenden Signalzustand unter Berücksichtigung von Daten eines Verkehrs der Straße und dem

Signalzustand der Signalgruppe mithilfe einer künstlichen Intelligenz, die von der Recheneinheit ausgeführt wird. Weiterhin kann eine Wahrscheinlichkeit für einen aktuellen Signalzustand und/oder eine Wahrscheinlichkeit für wenigstens einen zukünftigen Signalzustand wenigstens einer Signalgruppe unter Berücksichtigung der Verkehrsdaten der Straße und dem Signalzustand der Signalgruppe mithilfe der künstlichen Intelligenz von der Recheneinheit ermittelt werden.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorhersage eines Schaltzeitpunktes einer Signalgruppe einer Signalanlage, ein Computerprogrammprodukt und eine Recheneinheit.

[0002] Im Stand der Technik ist es bekannt, Signalanlagen mit Signalgruppen an Straßenkreuzungen vorzusehen, um einen Verkehr über die Kreuzung zu steuern. Die Signalanlagen werden dazu von einem Steuerprogramm angesteuert, das einen Signalzustand der Signalgruppen festlegt.

[0003] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Vorhersage eines Schaltzeitpunktes einer Signalgruppe der Signalanlage von einem Signalzustand auf einen folgenden Signalzustand zu verbessern.

[0004] Mithilfe des vorgeschlagenen Verfahrens zur Vorhersage eines Schaltzeitpunktes einer Signalgruppe einer Signalanlage ist es möglich, eine genauere Information über eine Restzeit des gerade vorliegenden Signalzustandes der Signalanlage zu erhalten. Dabei wird mithilfe einer Recheneinheit ein Schaltzeitpunkt der Signalgruppe der Signalanlage von einem Signalzustand zu einem folgenden Signalzustand unter Berücksichtigung von Daten des Verkehrs der Straße und dem Signalzustand der Signalgruppe mithilfe einer künstlichen Intelligenz prognostiziert. Die künstliche Intelligenz wird von einer Recheneinheit ausgeführt. Die Information über den Schaltzeitpunkt beziehungsweise die Restzeit für den vorliegenden Signalzustand der Signalgruppe kann angezeigt oder zu Fahrzeugen übertragen werden. Somit ist es möglich, dass Fahrzeuge die Information über den Schaltzeitpunkt bzw. die Restzeit eines aktuellen Signalzustandes bei der Annäherung an die Signalgruppe berücksichtigen und beispielsweise eine Geschwindigkeitsanpassung in der Weise vornehmen, dass das Fahrzeug mit möglichst wenig Wartezeit an der Signalgruppe die Kreuzung beziehungsweise die Signalanlage passieren kann.

[0005] Die Vorhersage des Schaltzeitpunktes kann für eine Signalgruppe einer Signalanlage oder für mehrere Signalgruppen der Signalanlage durchgeführt werden. Insbesondere kann die Prognose der Schaltzeitpunkte für alle Signalgruppen der Signalanlage, d.h. für alle Ampeln der Lichtsignalanlage der Kreuzung durchgeführt werden.

[0006] Eine weitere Verbesserung des Verfahrens wird dadurch erreicht, dass zusätzlich zum Schaltzeitpunkt beziehungsweise zur Restzeit des vorliegenden Signalzustandes eine Wahrscheinlichkeit für die Restzeit des vorliegenden Signalzustandes ermittelt wird. Mithilfe der Wahrscheinlichkeit kann ein Fahrer oder ein Fahrzeug die Verlässlichkeit prognostizierten Restzeit des Signalzustandes bewerten und somit eine präzisere Information über das zukünftige Schaltverhalten der Signalgruppe erhalten. Beispielsweise wird für ein grünes Signal einer Ampel eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des grünen Signals ermittelt. Die Wahrscheinlichkeit für den Signalzustand kann nicht nur für den aktuellen Signalzustand, sondern auch für zukünftige Signalzustände ermittelt werden.

[0007] Die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für die Restzeit des vorliegenden Signalzustandes und/oder für zukünftige Signalzustände kann für eine Signalgruppe einer Signalanlage oder für mehrere Signalgruppen der Signalanlage durchgeführt werden. Insbesondere kann die Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten der Signalzustände für alle Signalgruppen der Signalanlage, d.h. für alle Ampeln der Lichtsignalanlage der Kreuzung durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit für die Signalzustände, d.h. beispielsweise die Wahrscheinlichkeit für ein grünes Signal der Ampel kann für einen vorgegebenen zeitlichen Prognosehorizont in die Zukunft, beispielsweise für 120 Sekunden oder länger in die Zukunft voraus berechnet werden.

[0008] In einer Ausführungsform wird von der künstlichen Intelligenz wenigstens eine Information über ein Steuerprogramm berücksichtigt, wobei das Steuerprogramm die Signalanlage steuert. Die Information über das Steuerprogramm kann beispielsweise die Art des Steuerprogramms usw. umfassen.

[0009] In einer weiteren Ausführungsform wird von der künstlichen Intelligenz wenigstens eine aktuelle Zeit, insbesondere eine aktuelle Uhrzeit und/oder ein aktueller Wochentag und/oder ein aktueller Monat und/oder ein aktueller Feiertag berücksichtigt. Auch dadurch kann die Vorhersage des Schaltzeitpunktes und die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit für den Signalzustand verbessert werden.

[0010] In einer weiteren Ausführungsform werden von der künstlichen Intelligenz eine Zykluszeit innerhalb eines Steuerprogramms und/oder eine Umlaufzeit des Steuerprogramms, nach der sich das Steuerprogramm wiederholt, berücksichtigt. Dadurch kann eine weitere Präzisierung der Vorhersage des Schaltzeitpunktes und der Ermittlung der Wahrscheinlichkeit für den Signalzustand einer Signalgruppe erreicht werden.

[0011] In einer weiteren Ausführungsform werden von der künstlichen Intelligenz eine Meldung eines öffentlichen Transportmittels und/oder eine Anforderung eines öffentlichen Transportmittels für ein Freigabesignal der Signalanlage berücksichtigt. Auch diese Merkmale können eine weitere Verbesserung der Prognose des Schaltzeitpunktes und/oder der Ermittlung der Wahrscheinlichkeit für den Signalzustand der Signalgruppe ermöglichen.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform wird die Prognose für den Schaltzeitpunkt bzw. die Schaltzeitpunkte zwischen zwei Signalzuständen für einen festgelegten zukünftigen Zeitraum, insbesondere für 30 Sekunden oder bis 120 Sekunden oder länger durchgeführt. Dabei können auch mehrere Wechsel von Signalzuständen und damit mehrere Schaltzeiten zwischen zwei aufeinander folgende Signalzustände prognostiziert werden. Somit können nicht nur der nächste Schaltzeitpunkt, sondern mehrere zukünftige Schaltzeitpunkte zwischen Signalzuständen ermittelt werden. Dadurch wird eine längerfristige Prognose für das Schaltverhalten der Signalgruppe der Signalanlage ermöglicht.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform werden die Wahrscheinlichkeiten für den oder die zukünftigen Signalzustände wenigstens einer, insbesondere aller Signalgruppen einer Signalanlage einer Kreuzung für einen festgelegten zukünftigen Zeitraum, insbesondere für 30 Sekunden oder bis 120 Sekunden oder länger berechnet. Dabei können auch Wahrscheinlichkeiten für mehrere folgende Signalzustände prognostiziert werden. Somit können nicht nur die

Wahrscheinlichkeit für den aktuellen Signalzustand, sondern auch für mehrere zukünftige Signalzustände ermittelt werden. Dadurch wird eine längerfristige Prognose für das Schaltverhalten der Signalgruppe der Signalanlage ermöglicht.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform werden von der künstlichen Intelligenz Verkehrsinformationen berücksichtigt. Eine Verkehrsinformation kann eine Information über einen Stau oder einen Unfall usw. beinhalten. Die Verkehrsinformationen können einen wesentlichen Einfluss auf das Verkehrsaufkommen beziehungsweise den Verkehr an der Signalanlage bewirken. Somit wird die Bestimmung des Schaltzeitpunktes für den Wechsel von Signalzuständen der Signalgruppen bei einer Berücksichtigung von Verkehrsinformationen verbessert.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform wird wenigstens ein Teil der Prognose des Schaltzeitpunktes in einer externen Recheneinheit, insbesondere in einer Cloud durchgeführt. Abhängig von der gewählten Ausführung kann die gesamte Prognose der Schaltzeitpunkt bzw. der Restzeit in der externen Recheneinheit ausgeführt werden. Dadurch kann Rechenzeit in der Recheneinheit selbst eingespart werden. Dazu ist eine Datenkommunikation zwischen der Recheneinheit der Signalanlage und der externen Recheneinheit erforderlich. Diese kann beispielsweise drahtlos oder drahtgebunden ausgeführt sein.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform wird wenigstens ein Teil der Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des Signalzustandes in einer externen Recheneinheit, insbesondere in einer Cloud durchgeführt. Abhängig von der gewählten Ausführung kann die gesamte Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des Signalzustandes bzw. der Restzeit in der externen Recheneinheit ausgeführt werden. Dadurch kann Rechenzeit in der Recheneinheit selbst eingespart werden. Dazu ist eine Datenkommunikation zwischen der Recheneinheit der Signalanlage und der externen Recheneinheit erforderlich. Diese kann beispielsweise drahtlos oder drahtgebunden ausgeführt sein.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform wird eine künstliche Intelligenz verwendet, die mit Verkehrsdaten der Straße der Signalanlage und den Signalzuständen der Signalgruppe trainiert wurde. Dadurch ist die künstliche Intelligenz in der Lage, den Schaltzeitpunkt zwischen Signalzuständen gut und zuverlässig zu prognostizieren.

[0018] Beim Trainieren der künstlichen Intelligenz kann vorzugsweise eine der folgenden Parameter zusätzlich verwendet werden: eine Information über das Steuerprogramm, das die Signalanlage steuert; eine aktuelle Zeit, insbesondere eine Tageszeit und/oder ein Wochentag und/oder ein Monat und/oder ein Feiertag; eine Zykluszeit und/oder eine Umlaufzeit des Steuerprogramms; Vorliegen einer Festzeitsteuerung oder einer verkehrsabhängigen Steuerung oder Vorliegen einer zentralen Steuerung oder einer lokalen Steuerung; eine Meldung eines öffentlichen Verkehrsmittels und/oder Anforderung eines Freigabesignals für ein öffentliches Verkehrsmittel; Verkehrsinformationen usw. Mit diesen Parametern kann eine präzisere Modellbildung der künstlichen Intelligenz erreicht werden.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform kann wenigstens ein Teil des Trainings der künstlichen Intelligenz in einer externen Recheneinheit, insbesondere in einer Cloud durchgeführt werden. Nach dem Trainieren der künstlichen Intelligenz, das heißt der Modellbildung für die Prognose der Schaltzeiten und/oder der Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände wird die künstliche Intelligenz an die Recheneinheit übertragen. Dadurch wird Rechenkapazität der Recheneinheit der Signalanlage eingespart.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform wird die künstliche Intelligenz während des Betriebes der Signalanlage trainiert und die neu trainierte künstliche Intelligenz von der Recheneinheit nach Abschluss des Trainings verwendet. Durch das Trainieren der künstlichen Intelligenz während des Betriebs der Signalanlage wird eine kontinuierliche Anpassung der künstlichen Intelligenz ermöglicht. Eine regelmäßige Anpassung des Modells der künstlichen Intelligenz kann zu einer verbesserten Prognose der Schaltzeiten und/oder der Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände der Signalanlagen führen. Insbesondere kann durch ein regelmäßiges Training der künstlichen Intelligenz beispielsweise ein verändertes Verkehrsaufkommen berücksichtigt werden.

[0021] In einer weiteren Ausführungsform werden der prognostizierte Schaltzeitpunkt zwischen zwei Signalzuständen einer Signalgruppe und/oder eine Wahrscheinlichkeit für den prognostizierten Signalzustand an wenigstens einen Verkehrsteilnehmer insbesondere drahtlos übertragen. Die Verkehrsteilnehmer können beispielsweise Fußgänger, Fahrradfahrer, Fahrzeuge usw. sein. Dadurch können diese Informationen vom Verkehrsteilnehmer für eine verbesserte Planung, insbesondere Steuerung des Fahrzeuges, insbesondere Steuerung der Geschwindigkeit des Fahrzeuges berücksichtigt werden. Auf diese Weise können unnötige Wartezeiten an einer Signalanlage reduziert werden. Weiterhin kann ein Energieverbrauch der Fahrzeuge reduziert werden.

[0022] Für die Ausbildung der künstlichen Intelligenz kann beispielsweise ein neuronales Netzwerk, insbesondere ein rekursives neuronales Netzwerk verwendet werden. Mit diesen Netzwerken wurden gute Ergebnisse bei der Vorhersage der Schaltzeitpunkte zwischen den Signalzuständen einer Signalgruppe einer Signalanlage erreicht. Mit diesen Netzwerken wurden gute Ergebnisse bei der Vorhersage von Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände der Signalgruppe erreicht.

[0023] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie

diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden, wobei

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Lichtsignalanlage,

FIG 2 eine schematische Darstellung einer Fahrbahn mit einer Kreuzung und einer Signalanlage,

FIG 3 eine schematische Darstellung eines neuronalen Netzwerkes,

FIG 4 eine Tabelle, in der eine Übersicht für prognostizierte Schaltzeiten zwischen Signalzuständen für vier Signalgruppen einer Signalanlage angegeben sind, und

FIG 5 eine Tabelle mit Werten für Wahrscheinlichkeiten für ein Grünsignal und mit Werten für Schaltzeitpunkte der Signalgruppen

zeigt.

[0024] Moderne Lichtsignalanlagen zur Steuerung eines Verkehrs auf Straßen haben die Aufgabe, den Verkehr möglichst mit geringen Wartezeiten an den Lichtsignalanlagen bei einer hohen Durchsatzrate von Fahrzeugen zu steuern. Dabei werden z.B. Grüne-Welle-Verfahren eingesetzt, um einen möglichst fließenden Verkehr mit einer relativen hohen Durchschnittsgeschwindigkeit und geringen Standzeiten bei Signalanlagen zu erreichen.

[0025] Eine gute Verkehrssteuerung kann dadurch erreicht werden, dass die Verkehrsteilnehmer, insbesondere die Fahrzeuge eine Information über zukünftige Signalzustände einer Signalgruppe einer Signalanlage und insbesondere Informationen über zukünftige Schaltzeitpunkte zwischen zukünftigen Signalzuständen einer Signalgruppe einer Signalanlage erhalten. Die zukünftigen Signalzustände beziehungsweise die Schaltzeitpunkte für den Wechsel der Signalzustände der Signalanlage können beispielsweise drahtlos von Schaltstellen am Straßenrand oder über Mobilfunk von einer externen Recheneinheit an die Fahrzeuge gesendet werden. Dadurch kann ein Fahrer eines Fahrzeuges oder eine Steuereinheit des Fahrzeugs z.B. eine optimierte Geschwindigkeit ermitteln oder festlegen, die für das Fahrzeug vorteilhaft ist. Die optimierte Geschwindigkeit kann auf Basis des aktuellen Standortes des Fahrzeugs, der beispielsweise durch eine GPS-Information bekannt ist, dem Standort der Signalgruppe und des erwarteten Schaltzeitpunktes der Signalgruppe berechnet werden.

[0026] Ein Ziel des vorliegenden Verfahrens und des vorliegenden Systems besteht darin, eine verbesserte Vorhersage der verbleibenden Zeit eines Signalzustandes einer Signalgruppe einer Signalanlage bis zu einem nächsten Schaltzeitpunkt zu ermöglichen. Eine weitere Verbesserung kann dadurch erreicht werden, dass zusätzlich eine Wahrscheinlichkeit für die verbleibende Restzeit bis zum nächsten Schaltzeitpunkt des Signalzustandes ermittelt und insbesondere an die Verkehrsteilnehmer übermittelt wird.

[0027] Das vorgeschlagene Verfahren kann auf einzelnen Signalanlagen mit einer oder mehreren Signalgruppe, mehreren Signalanlagen mit mehreren Signalgruppen und einem Verbund von Signalanlagen und Signalgruppen angewendet werden. Die Vorhersage über die Schaltzeitpunkte für die Signalzustände und die Wahrscheinlichkeiten für die prognostizierten Signalzustände bzw.

[0028] Restzeiten können für einen vorgegebenen zeitlichen Horizont in der Zukunft ermittelt werden. Bei der Prognose der Schaltzeitpunkte kann es sich um ein Klassifikationsproblem handeln, das mittels einer Kreuzentropie optimiert wird. Als Ergebnis der Prognose durch eine künstliche Intelligenz, insbesondere ein neuronales Netzwerk, wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über den Signalzustand der jeweiligen Signalgruppe über den zeitlichen Prognosehorizont erhalten.

[0029] Ein mit der künstlichen Intelligenz, insbesondere dem neuronalen Netzwerk nachgebildetes Prognosemodell für die Schaltzeitpunkte kann zwei Aufgaben erfüllen: es erlernt datenbasiert ein Schaltverhalten der Signalgruppen der Signalanlage und ein uhrzeitabhängiges Systemmodell der Verkehrsströme, wie sie beispielsweise von Detektoren erfasst werden, sowie das daraus resultierende Schaltverhalten der Signalgruppen der Signalanlage. Das Prognosemodell kann vorzugsweise durch Verfahren zur Modellierung dynamischer Systeme, insbesondere mithilfe von neuronalen Netzwerken, vorzugsweise rekurrenten neuronalen Netzwerken erstellt werden. Beispiele können hierfür folgende Architekturen und Netzwerke verwendet werden: rekurrente neuronale Netze, Fixpunkt-Konvergenz-Netze, Elman-Jordan-Netze, ECNN, Kausal-Retro-Kausal-Netzwerke, LSTM, Gated Recurrent Units. Die neuronalen Netze ermöglichen es, eine Aussage zur Prognosesicherheit der Schaltzustände bzw. der Schaltzeitpunkte zu liefern, sowie sichere von unsicheren Zuständen zu unterscheiden. Möglichkeiten hierzu sind: Die Ableitung der Unsicherheit aus einem Modellfehler, Streuung des Outputs von Modellen, die Ableitung einer Bandbreite einer Conditional-Density-Estimation, Generierung von Modelloutput durch Szenarienbildung. Zudem kann das Netzwerk in der Lage sein, statistische sowie systemimmanente dynamische Zusammenhänge zwischen Inputvariablen und Outputvariablen zu erlernen. Beispielsweise kann das Netzwerk ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zu einer bestimmten Uhrzeit lernen und unter Berücksich-

tigung dieser statistischen Zusammenhänge beispielsweise eine höhere Rotwahrscheinlichkeit für eine gegebene Signalgruppe zu dieser Zeit prognostizieren.

[0030] Unter einem Schaltzeitpunkt wird der Zeitpunkt verstanden, zu dem eine Signalgruppe einen Signalwechsel vornimmt. Beispielsweise kann die Signalgruppe von dem Signal freie Fahrt, das beispielsweise durch ein grünes Signal angezeigt wird, auf gesperrte Fahrt, das beispielsweise durch ein rotes Signal angezeigt wird, umschalten. Dies kann als Regressionsproblem zwischen einem echten Schaltzeitpunkt gegen einen prognostizierten Schaltzeitpunkt formalisiert werden. Dabei kann die Architektur des Prognosemodells in der Lage sein, einen gewissen Memory-Effekt abzubilden.

[0031] Das vorgeschlagene Verfahren beziehungsweise das vorgeschlagene System kann eine Prognosematrix liefern, die für jeden Zeitpunkt in einem vorgegebenen Zeitfenster und für jede Signalgruppe einer Signalanlage eine prognostizierte Wahrscheinlichkeit für einen Signalzustand enthält. Beispielsweise kann die Prognosematrix eine Wahrscheinlichkeit für ein grünes Signal einer Ampel oder eine Wahrscheinlichkeit für ein rotes Signal einer Ampel für jedes Zeitfenster enthalten. Diese Aufgabe kann mithilfe eines Multi-Objective-Lernproblems gelöst werden. Dabei kann eine Prognose von Signalzuständen, insbesondere Wahrscheinlichkeiten für Signalzustände und Restzeitprognosen bis zum Umschaltzeitpunkt von einem Signalzustand zu einem folgenden Signalzustand für alle Signalgruppen einer Signalanlage mithilfe eines neuronalen Netzes gelöst werden, das das Lernproblem dynamisch und integriert löst.

[0032] Das verwendete Verfahren benötigt keine Information über einen genauen Schaltplan der Lichtsignalanlage und auch kein Expertenwissen über die kausalen Zusammenhänge in einer Verkehrssteuerung. Das vorgeschlagene Verfahren verfügt über eine hohe Skalierbarkeit im Hinblick auf eine Anwendung auf verschiedene Lichtsignalanlagen, da es sich um ein Verfahren handelt, das nur anhand eines gegebenen Datensatzes kalibriert werden muss, d.h. die künstliche Intelligenz trainiert werden muss. Darüber hinaus ist das Prognosemodell in Echtzeit nutzbar und kann jederzeit auf aktuelle Daten nachtrainiert werden. Einen zusätzlichen Vorteil bietet eine Generalisierungsfähigkeit, die es erlaubt, das System auf Kreuzungen mit beliebiger Komplexität ohne Expertenwissen zu übertragen.

[0033] Neuronale Netze sind parametrische Funktionen, die datengetrieben über stochastische Gradientenabstiegsverfahren trainiert werden können. So sind die neuronalen Netze in der Lage, nicht-lineare Zusammenhänge ohne Expertenwissen zu erkennen. Ebenso ist eines der technischen Merkmale der neuronalen Netzwerke, dass die verwendete Architektur eine integrierte Prognose von Schaltzeitpunkt und -zustand erlaubt. Rekurrente neuronale Netzwerke ermöglichen eine höhere Prognosegüte, da sie in der Lage sind, die zugrundeliegende Dynamik des zu modellierenden Systems sowie auftretende Memory-Effekte besser abzubilden als reine Input-Output-Modelle wie zum Beispiel Feed-Forward-Netze.

[0034] FIG 1 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Aufbau einer Signalanlage 14 mit drei Signalgruppen 6, 7, 8. Die Signalanlage 14 weist eine Steuereinheit 5 auf, die mit Detektoren 1, 2, 3 verbunden ist. Die Detektoren 1, 2, 3 erfassen verschiedene Parameter eines Verkehrs auf wenigstens einer Straße, an der die Signalanlage 14 mit den Signalgruppen 6, 7, 8 angeordnet ist. Mithilfe der Detektoren 1, 2, 3 werden auf der Straße z.B. Fahrzeuge erfasst. Dadurch kann abhängig von einer Fahrzeugdichte auf der oder den Straßen eine an den Verkehr angepasste Steuerung der Signalanlage 14 erfolgen. Zudem ist eine Recheneinheit 4 vorgesehen, die entweder direkt von den Detektoren 1, 2, 3 Information über den Verkehr auf der Straße oder über das Steuergerät 5 Informationen über den Verkehr erhält. Auf diese Weise erhält auch die Recheneinheit 4 die Informationen über den Verkehr, insbesondere über die Verkehrsdichte auf der bzw. den Straßen einer Kreuzung. Die Daten der Detektoren 1, 2, 3 werden z.B. von der Recheneinheit 4 über einen ersten Eingang 9 erhalten.

[0035] Die Steuereinheit 5 verfügt über einen Datenspeicher und über Steuerprogramme, mit denen abhängig von verschiedenen Parametern und insbesondere abhängig von Verkehrsdaten, die mithilfe der Detektoren 1, 2, 3 erfasst werden, die Signalgruppen 6, 7, 8 der Signalanlage 14 in der Weise angesteuert werden, dass ein gewünschter Verkehrsfluss auf der Straße, insbesondere über eine Kreuzung erfolgen kann. Die Signalgruppen 6, 7, 8 sind in der dargestellten Ausführungsform als Lichtsignalgruppen ausgebildet. Dabei weist jede Signalgruppe eine Anzeige für rotes Licht, eine Anzeige für gelbes Licht und eine Anzeige für grünes Licht auf. Die Anzeige für rotes Licht bedeutet für den Verkehr, dass die Vorbeifahrt an der Signalgruppe gesperrt ist. Die Anzeige des grünen Lichtes bedeutet, dass die Vorbeifahrt an der Signalgruppe freigegeben ist. Die Anzeige des gelben Lichtes bedeutet, dass ein Signalwechsel zwischen der Freigabe, d.h. grünes Licht und der Sperrung, d.h. rotes Licht erfolgt.

[0036] Abhängig von der gewählten Ausführungsform können die Signalgruppen 6, 7, 8 auch andere Signale aufweisen, um eine Fahrt freizugeben oder eine Fahrt zu sperren. Die Steuereinheit 5 gibt die Steuersignale für die Signalgruppen der Signalanlage auch an einen zweiten Eingang 10 der Recheneinheit 4 weiter. Somit verfügt die Recheneinheit 4 auch über die Information, welche Signalgruppe welches Signal gerade anzeigt. Zudem ist ein vierter Eingang 15 vorgesehen, über den die Steuereinheit 5 an die Recheneinheit 4 weitere Informationen über das Steuerprogramm übermittelt, das die Steuereinheit 5 verwendet, um die Signalanlage 14 mit den Signalgruppen 6, 7, 8 anzusteuern. Die Informationen über das Steuerprogramm können beispielsweise die Umlaufzeit, die Zykluszeit, eine Information darüber, ob es sich um eine zentrale Steuerung, eine lokale Steuerung, oder um eine Steuerung handelt, die durch den Verkehr aktiviert werden kann, ob Fehler in der Steuerung oder der Lichtsignalanlage vorliegen, ob es sich um eine verkehrs-

abhängige Steuerung handelt, ob ein Fehler am Detektor vorliegt, ob es sich um eine überlagerte Steuerung oder um eine zentrale Steuerung handelt, in welchem Zustand sich die Steuereinheit befindet usw. enthalten.

[0037] Die Recheneinheit 4 verfügt weiterhin über einen dritten Eingang 11, über den weitere Informationen erhalten werden. Die weiteren Informationen können beispielsweise eine Verkehrsinformation, eine Information über ein öffentliches Verkehrsmittel, eine Meldung eines öffentlichen Verkehrsmittels an einem Meldepunkt oder eine Anforderung für eine freie Fahrt durch ein öffentliches Verkehrsmittel usw. beinhalten. Die Meldung des Verkehrsmittels kann beispielsweise eine Information über die Art des Verkehrsmittels oder eine Kennung des Verkehrsmittels, wie zum Beispiel eine Liniennummer des Verkehrsmittels aufweisen. Ein öffentliches Verkehrsmittel kann ein Bus, eine Trambahn usw. sein. Zudem verfügt die Recheneinheit 4 über eine Zeiteinheit, mit der die aktuelle Zeit bestimmt werden kann. Weiterhin verfügt die Recheneinheit 4 über eine Information, welche Uhrzeit, welcher Wochentag, welcher Monat, welcher Kalendertag, welches Jahr usw. gerade ist. Zudem kann auch eine Information über einen aktuellen Feiertag der Recheneinheit 4 zur Verfügung stehen oder über den dritten Eingang zur Verfügung gestellt werden.

[0038] Weiterhin können der Recheneinheit 4 über den dritten Eingang 11 Informationen über den Verkehr, beispielsweise Verkehrsmeldungen übermittelt werden. Verkehrsmeldungen können zum Beispiel Informationen über Unfälle, Staus, hohes Verkehrsaufkommen, Sperrung einer Straße usw. sein.

[0039] Die Recheneinheit 4 verfügt über eine künstliche Intelligenz in Form eines Computerprogrammes und/oder in Form von Hardwareschaltungen, wobei die künstliche Intelligenz ausgebildet ist, um aufgrund wenigstens eines der zur Verfügung stehenden Parameter eine Prognose für einen Schaltzeitpunkt wenigstens einer Signalgruppe von einem Signalzustand zu einem folgenden Signalzustand zu prognostizieren. Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann für wenigstens eine Signalgruppe somit die Restzeitdauer des vorliegenden aktuellen Signalzustandes und auch Schaltzeitpunkte zwischen zukünftigen Signalzuständen der Signalgruppe prognostiziert werden. Der zeitliche Horizont, bis zu dem der Signalverlauf und damit die Schaltzeitpunkte zwischen den Signalzuständen einer Signalgruppe prognostiziert wird, kann im Bereich von einigen Sekunden bis zu 30 Sekunden und auch länger als 30 Sekunden liegen. Die Prognose kann eine Wahrscheinlichkeit für die prognostizierte Restzeitdauer des aktuellen Signalzustandes einer Signalgruppe ermitteln. Weiterhin kann auch für zukünftige Signalzustände eine Wahrscheinlichkeit für die prognostizierte Zeitdauer und die prognostizierten Schaltzeitpunkte zwischen den Signalzuständen ermittelt werden.

[0040] Die Ermittlung der Schaltzeitpunkte zwischen Signalzuständen einer Signalgruppe kann in festgelegten Zeitabständen aktualisiert werden. Beispielsweise können jede Sekunde für den vorgegebenen zukünftigen Zeithorizont von beispielsweise größer als 30 Sekunden, insbesondere größer als 120 Sekunden die Schaltzeitpunkte zwischen den Signalzuständen der Signalgruppe prognostiziert werden. Zudem können auch jede Sekunde die Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände der Signalgruppe ermittelt werden. Damit wird gleichzeitig eine Restdauer des vorliegenden Signalzustandes der Signalgruppe ermittelt. Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann die Recheneinheit 4 ausgebildet sein, um für mehrere Signalgruppen der Signalanlage, insbesondere für alle Signalgruppen der Signalanlage die Schaltzeitpunkte für einen Übergang zwischen Signalzuständen der Signalanlagen für einen vorgegebenen zukünftigen Zeithorizont zu ermitteln. Zudem kann die Recheneinheit 4 ausgebildet sein, um für mehrere Signalgruppen 6, 7, 8, insbesondere für alle Signalgruppen der Signalanlage auch die Wahrscheinlichkeiten für die Restzeitdauern der aktuellen Signalzustände der Signalgruppen der Signalanlage ermitteln.

[0041] Weiterhin können auch für den Wechsel von weiteren Signalzuständen der Signalgruppen der Signalanlage die Schaltzeitpunkte und die Wahrscheinlichkeiten für die folgenden Signalzustände der Signalgruppen ermittelt werden. Zudem kann abhängig von der gewählten Ausführungsform die Recheneinheit 4 ausgebildet sein, um für mehrere Signalanlagen die Schaltzeitpunkte der Signalgruppen der Signalanlagen und die Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände der Signalgruppen der Signalanlage zu ermitteln. Die Recheneinheit 4 und die Steuereinheit 5 können abhängig von der gewählten Ausführungsform auch in einer einzigen Recheneinheit ausgebildet sein. Die Wahrscheinlichkeiten werden von der Recheneinheit 4 aus einem gelernten historischen Vergleich der prognostizierten Schaltzeitpunkte mit den tatsächlich gemessenen Schaltzeitpunkten ermittelt. Dabei werden Schaltzeitpunkte für bestimmte Verkehrssituationen und Zustände der Signalanlage für einen festgelegten zukünftigen Zeitraum prognostiziert.

[0042] Anschließend wird durch Messung mithilfe der Detektoren überprüft, mit welcher Wahrscheinlichkeit die prognostizierten Signalzustände tatsächlich aufgetreten sind. Abhängig von der gewählten Ausführung können auch andere Verfahren zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände verwendet werden.

[0043] Abhängig von der gewählten Ausführungsform wird wenigstens ein zukünftiger Schaltzeitpunkt oder eine Restzeit des aktuellen Signalzustandes oder eine Zeitdauer eines zukünftigen Signalzustandes von der Recheneinheit 4 an ein Fahrzeug 13 über einen Ausgang 12 beispielsweise drahtlos übertragen. Abhängig von der gewählten Ausführungsform können die Schaltzeitpunkte zukünftiger Übergänge zwischen Signalzuständen für einen vorgegebenen zukünftigen Zeithorizont wenigstens einer der Signalgruppen der Signalanlage, insbesondere aller Signalgruppen der Signalanlage an das Fahrzeug 13 übermittelt werden.

[0044] Abhängig von der gewählten Ausführungsform können die Zeitdauern der aktuellen Signalzustände der Signalgruppen und die Zeitdauern der zukünftigen Signalzustände der Signalgruppen für einen vorgegebenen zukünftigen Zeithorizont wenigstens für eine der Signalgruppen der Signalanlage, insbesondere für alle Signalgruppen der Signal-

anlage an das Fahrzeug 13 übermittelt werden. Weiterhin können diese Informationen auch an eine externe Recheneinheit 16 übermittelt werden.

[0045] Das Fahrzeug 13 und/oder die externe Recheneinheit 16 können die übermittelten Informationen über die zukünftigen Schaltzeitpunkte der Signalgruppen der Signalanlage und/oder die Zeitdauern der aktuellen und/oder der zukünftigen Signalzustände der Signalgruppen und/oder die Wahrscheinlichkeiten der aktuellen und/oder der zukünftigen Signalzustände der Signalgruppen für eine statistische Auswertung, eine Reiseplanung einer Fahrtroute und/oder eine Steuerung einer Geschwindigkeit des Fahrzeuges oder eine Ausgabe einer Information an einen Fahrer verwenden.

[0046] Beispielsweise können die Daten im Fahrzeug 13 von einer Steuereinheit zur automatischen Steuerung einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs verwendet werden. Zudem können die Informationen im Fahrzeug 13 in ein Navigationssystem beziehungsweise Navigationsprogramm eingelesen und für die Fahrroutenplanung berücksichtigt werden. Weiterhin können die Informationen dem Fahrer über ein Display, beispielsweise ein Display eines Mobiltelefons oder ein Display eines integrierten Navigationssystems angezeigt werden. Die externe Recheneinheit 16 kann zudem ausgebildet sein, um die übermittelten Informationen über die zukünftigen Schaltzeitpunkte der Signalgruppen der Signalanlage und deren Wahrscheinlichkeiten an Fahrzeuge 13 drahtlos zu übermitteln.

[0047] Die externe Recheneinheit 16 kann als Cloud oder als einzelne externe Recheneinheit realisiert sein. Abhängig von der gewählten Ausführungsform können die Parameter, die von der Recheneinheit 4 erfasst werden, auch zur externen Recheneinheit 16 übertragen werden. Zudem kann die externe Recheneinheit 16 ausgebildet sein, um die künstliche Intelligenz zu trainieren und das entsprechende Modell zur Vorhersage der Schaltzeitpunkte und der Wahrscheinlichkeit der Signalzustände zu realisieren.

[0048] Die trainierte künstliche Intelligenz kann anschließend als Rechenprogramm an die Recheneinheit 4 übertragen werden. Die Schnittstelle zwischen der externen Recheneinheit 16 und der Recheneinheit 4 kann drahtlos aber auch drahtgebunden ausgebildet sein. Weiterhin kann abhängig von der gewählten Ausführungsform auch in der externen Recheneinheit 16 die Berechnung der Prognose für die Schaltzeiten und/oder die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Signalzustände ausführen. Somit kann die externe Recheneinheit 16 die ermittelten Wahrscheinlichkeiten der aktuellen und zukünftigen Signalzustände der Signalgruppen und die ermittelten zukünftigen Schaltzeiten der Signalgruppen an die Recheneinheit 4 übermitteln. Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann die externe Recheneinheit 16 ausgebildet sein, um die Informationen über die Schaltzeiten und die Wahrscheinlichkeiten der Schaltzeiten an weitere Recheneinheiten beziehungsweise an die Fahrzeuge 13 zu übermitteln. Zudem kann die Recheneinheit 4 die Übermittlung der Schaltzeiten der Signalgruppen und/oder der Wahrscheinlichkeiten der Signalzustände an die Fahrzeuge 13 beispielsweise drahtlos ausführen.

[0049] Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann die Recheneinheit 4 und/oder die externe Recheneinheit 16 die künstliche Intelligenz trainieren. Beispielsweise können die Daten, die die Recheneinheit 4 zur Prognose der Schaltzeiten und/oder der Wahrscheinlichkeiten der Signalzustände benötigt, über eine Datenverbindung von der Steuereinheit 5 angefordert werden. Beispielsweise können die Parameter jede Sekunde von der Steuereinheit 5 abgefragt und erhalten werden. Zudem können die zum Trainieren des Modells benötigten Daten jede Sekunde von der Recheneinheit 4 und/oder von der Steuereinheit 5 an die externe Recheneinheit 16 übertragen werden.

[0050] Abhängig von der gewählten Ausführung kann auch nur die Recheneinheit 4 das Trainieren der künstlichen Intelligenz ausführen. Zudem kann die künstlichen Intelligenz der Recheneinheit 4 von extern übermittelt werden.

[0051] Zum Trainieren der künstlichen Intelligenz kann z.B. ein Back-Propagation-Verfahren von S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Company, Second Edition, ISBN 0-13-273350-1, Seite 732 bis 789, 1999 verwendet werden. Bei diesem bekannten Trainingsverfahren wird in der folgenden Trainingsphase die Kostenfunktion minimiert.

[0052] FIG 2 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Kreuzung 17, an der eine zweite Straße 18 in eine erste Straße 19 einmündet beziehungsweise davon abzweigt. An der ersten Straße 19 ist links von der Kreuzung 17 die erste Signalgruppe 6 und der erste Detektor 1 angeordnet. An der zweiten Straße 18 sind der zweite Detektor 2 und die zweite Signalgruppe 7 angeordnet. Auf der rechten Seite der Kreuzung 17 sind auf der ersten Straße 19 der dritte Detektor 3 und die dritte Signalgruppe 8 angeordnet. Die Detektoren 1, 2, 3 sind mit der Steuereinheit 5 und der Recheneinheit 4 verbunden. Die Recheneinheit 4 und die Steuereinheit 5 können abhängig von der gewählten Ausführungsform auch in einer einzigen Recheneinheit ausgebildet sein. Beispielsweise sind die Recheneinheit 4 und/oder die Steuereinheit 5 am Straßenrand in einer Schaltbox angeordnet. Die Signalgruppen 6, 7, 8 der Signalanlage 14 stehen mit der Steuereinheit 5 in Verbindung. Die Detektoren 1, 2, 3 sind ausgebildet, um Fahrzeuge zu detektieren, die sich der Kreuzung 17 nähern. Somit kann die Steuereinheit 5 abhängig von dem aktuellen Verkehrsaufkommen eine verkehrsabhängige Steuerung der Signalzustände der Signalgruppen 6, 7, 8 der Signalanlage 14 durchführen.

[0053] Die Steuereinheit 5 kann beispielsweise über ein Ethernet mit der Recheneinheit 4 in Verbindung stehen. Über diese Verbindung können aktuell die vorliegenden Informationen über das Signalprogramm, die Umlaufzeit, die Zykluszeit, der Signalzustand für die Ansteuerung der Signalzustände der Signalgruppen, die Daten der Detektoren, Informationen über Meldungen des öffentlichen Transportmittels usw. in festgelegten Zeitabständen beispielsweise sekundlich ausgetauscht werden.

[0054] Die Recheneinheit 4 kann als künstliche Intelligenz zur Modellierung des Schaltverhaltens wenigstens einer Signalgruppe einer Signalanlage oder mehrerer, insbesondere aller Signalgruppen einer Signalanlage einer Kreuzung, beispielsweise ein neuronales Netzwerk, ein rekurrentes neuronales Netzwerk, ein Fixpunkt-Konvergenz-Netz, ein Elman-Jordan-Netz, ECNN, ein Kausal-Retro-kausales Netz, ein LSTM, ein Gated Recurrent Netz aufweisen.

[0055] FIG 3 zeigt ein einfaches, schematisches Beispiel für ein neuronales Netzwerk in Form eines rekurrenten neuronalen Netzwerkes.

[0056] Im Folgenden wird eine grundlegende Funktionsweise des rekurrenten neuronalen Netzwerkes erläutert. Das folgende Gleichungssystem 1.1 beschreibt zeitdiskrete Zustände eines dynamischen Systems in einer rekurrenten Beschreibung:

$$\begin{array}{ll} s_t = f(s_{t-1}, u_t) & \text{Zustandsübergang} \\ y_t = g(s_t) & \text{Ausgangsgleichung} \end{array} \quad 1.1$$

[0057] Ein Zustandsübergang wird durch einen vorhergehenden internen versteckten Zustand des Systems s_{t-1} zum Zeitpunkt $t-1$ und den Einfluss eines externen Parameters u_t zum Zeitpunkt t auf den neuen Zustand s_t zum Zeitpunkt t festgelegt. Die Zustände s_t , s_{t-1} usw. können Parameter oder Vektoren mit mehreren Parametern sein. Die Ausgangsgleichung ermittelt den bestimmbar Ausgangsvektor y_t . Bei der Signalanlage sind z.B. die externen Parameter u_t , die Parameter, die mit den Detektoren erfasst werden. Der Ausgangsvektor y_t sind die Signalzustände der Signalgruppen der Signalanlage.

[0058] Die Aufgabe besteht nun darin, das dynamische System der Gleichungen 1.1, das durch die Funktionen f und g festgelegt ist, für ein vorliegendes System der Steuerung der Signalanlage zu ermitteln. Dies kann dadurch erfolgen, dass ein gemittelter Unterschied zwischen gemessenen Ausgangsvektoren y_t^d , $t = 1, \dots, T$ und die berechneten Daten y_t für ein Modell minimal werden:

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - y_t^d)^2 \rightarrow \min_{f,g} \quad (1.2)$$

[0059] Die Gleichungen 1.1 und 1.2 können als zeitverzögertes rekurrentes neuronales Netzwerk mit folgenden Gleichungen definiert werden:

$$\begin{array}{ll} s_t = NN(s_{t-1}, u_t, v) & \text{Zustandsübergang} \\ y_t = NN(s_t, w) & \text{Ausgangsgleichung} \end{array} \quad (1.3)$$

[0060] Durch die Spezifizierung der Funktionen f und g als neuronale Netze mit Parametervektoren v , w sind die Gleichungen 1.3 in ein Problem zur Identifizierung von Parametern mit folgender Formel übertragen worden:

$$\begin{array}{l} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - y_t^d)^2 \\ \rightarrow \min_{v, w} \end{array} \quad (1.4)$$

[0061] Das dynamische System, das die folgenden zwei Gleichungen aufweist, kann als ein neuronales Netzwerk gemäß FIG 3 realisiert werden.

$$\begin{aligned} s_t &= \tanh(As_{t-1}, Bu_t) && \text{Zustandsübergang} \\ yt &= Cs_t && \text{Ausgangsgleichung} \end{aligned} \quad (1.5)$$

[0062] Damit wird ein Eingangsvektor zum Zeitpunkt t mit dem Gewicht B auf die versteckte Schicht mit den Zuständen s_t einwirken. Die versteckte Schicht wird mit einem Gewicht C in den Ausgangsvektor y_t übergehen. Gleichzeitig wird der Zustand s_{t-1} mit dem Gewicht A auf die versteckte Schicht einwirken. Zudem wird die versteckte Schicht mit einer Einheitsmatrix id auf den Zustand s_t einwirken. Dabei ist die Ausgangsfunktion $NN(s_t; w)$ als lineare Funktion realisiert.

[0063] Unter diesen Annahmen kann das in FIG 3 schematisch dargestellte rekurrente neuronale Netzwerk realisiert werden. Das neuronale Netzwerk weist eine versteckte Schicht mit den versteckten Zuständen s_t auf, wobei t einen inkrementellen Zeitpunkt definiert. Zudem wird ein Eingangsvektor u_t mit dem Gewicht B auf den jeweiligen versteckten Zustand einwirken. Weiterhin wird aus dem versteckten Zustand s_t mit dem Gewicht C ein Ausgangsvektor y_t ermittelt. Gleichzeitig wirkt ein versteckter Zustand s_{t-1} auf den folgenden Zustand s_t mit dem Gewicht A ein.

[0064] Eine Aufgabe besteht nun darin, das Modell des Ausgangsvektors y_t möglichst präzise zu ermitteln. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird das Einwirken von drei vorhergehenden Zuständen, das heißt s_{t-3} , s_{t-2} und s_{t-1} zusammen mit dem aktuellen versteckten Zustand s_t verwendet, um zukünftige versteckte Zustände s_{t+1} , s_{t+2} usw. und auch zukünftige Ausgangsvektoren y_{t+1} , y_{t+2} usw. zu ermitteln.

[0065] Bei einem Lernverfahren wird das neuronale Netzwerk in der Weise trainiert, dass die Gewichte A, B und C ermittelt werden, sodass die mit dem neuronalen Netzwerk berechneten Ausgangsvektoren y_t möglichst genau den gemessenen Ausgangsvektoren y_t entsprechen. In dem vorliegenden Fall werden zum Trainieren des neuronalen Netzwerkes als Eingangsvektoren u_t die Parameter verwendet, die der Recheneinheit 4 über den ersten Eingang 9, den dritten Eingang 11 und den vierten Eingang 15 zugeführt werden. Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann auch nur ein Teil der Parameter als Eingangsvektor verwendet werden.

[0066] Als Ausgangsvektor wird wenigstens ein Schaltzeitpunkt einer Signalgruppe von einem aktuellen Signalzustand auf einen folgenden Signalzustand ermittelt. Zudem kann abhängig von der gewählten Ausführungsform der Ausgangsvektor eine Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit eines prognostizierten Signalzustandes wenigstens einer Signalgruppe der Signalanlage umfassen. Weiterhin kann der Ausgangsvektor für einen vorgegebenen Zeitpunkt die Schaltzeitpunkte zwischen den auftretenden Signalzuständen einer Signalgruppe aufweisen. Zudem kann der Ausgangsvektor Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände wenigstens einer Signalgruppe für einen vorgegebenen Prognosezeitraum aufweisen. Zudem kann der Ausgangsvektor die Schaltzeitpunkte und/oder die Wahrscheinlichkeiten für die Signalzustände mehrerer Signalgruppen der Signalanlage, insbesondere für alle Signalgruppen der Signalanlage aufweisen. Die gemessenen Ausgangsvektoren werden mit den berechneten Ausgangsvektoren verglichen. Durch eine entsprechende Anpassung der Gewichte A, B und C werden die berechneten Ausgangsvektoren an die gemessenen Ausgangsvektoren angepasst. Ist der Unterschied zwischen dem berechneten Ausgangsvektor und dem gemessenen Ausgangsvektor für jeden Parameter kleiner als 5%, dann wird das Lernverfahren beendet und das Modell bzw. das neuronale Netz mit den Gewichten A, B, C beibehalten. Dieses Modell wird für eine zukünftige Vorhersage von Schaltzeitpunkten und/oder von Wahrscheinlichkeiten der Signalzustände von der Recheneinheit 4 verwendet.

[0067] In einer weiteren Ausführungsform kann als künstliche Intelligenz ein rekurrentes neuronales Netzwerk mit einer Fehlerkorrektur verwendet werden. Bei diesem Verfahren kann das System mit folgenden Gleichungen beschrieben werden.

$$\begin{aligned} s_t &= f(s_{t-1}, u_t, y_{t-1} - y_{t-1}^d) \\ yt &= g(s_t) \end{aligned} \quad (1.9)$$

[0068] Dabei ist y_t^d der tatsächlich gemessene Ausgangsvektor zum Zeitpunkt t. Auf Basis der Gleichungen 1.9 kann ein neuronales Netzwerk mit einer Fehlerkorrektur mit folgenden Gleichungen formuliert werden:

$$\begin{aligned} s_t &= \tanh(As_{t-1} + Bu_t + D \tanh(Cs_{t-1} - y_{t-1}^d)) \\ yt &= Cs_t \end{aligned} \quad (1.12)$$

[0069] Dieses Gleichungssystem wird mithilfe einer Parameteroptimierung ermittelt, wobei die vier Parameter A, B, C und D nach folgender Vorschrift werden:

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - y_t^d)^2 \rightarrow \min_{A,B,C,D}$$

(1.13)

[0070] Eine weitere Beschreibung der möglichen zu verwendenden neuronalen Netze für die Realisierung der künstlichen Intelligenz kann dem Artikel Zimmermann HG., Neuneier R., Grothmann R. (2002) Modeling Dynamical Systems by Error Correction Neural Networks. In: Soofi A.S., Cao L. (eds) Modelling and Forecasting Financial Data. Studies in Computational Finance, vol 2. Springer, Boston, MA entnommen werden. Zudem sind entsprechende neuronale Netzwerke in EP 1 252 566 B1 beschrieben.

[0071] FIG 4 zeigt eine Tabelle, die die Recheneinheit 4 mithilfe der künstlichen Intelligenz für Schaltzeitpunkte von vier Signalgruppen zu fortlaufenden Zeitpunkten ermittelt hat. Zudem sind für die Zukunft Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen eines Grünsignals angegeben.

[0072] In einer ersten Spalte 21 sind das Datum und die Uhrzeit angegeben, zu dem die Daten ermittelt wurden. Die Uhrzeit entwickelt sich von oben nach unten fortlaufend in Zeitabschnitten von jeweils einer Sekunde. Zudem sind in einer zweiten Spalte 22 die einzelnen Signalgruppen mit sgr_01 für die erste Signalgruppe, sgr_02 für die zweite Signalgruppe, sgr_03 für die dritte Signalgruppe und sgr_04 für die vierte Signalgruppe angegeben. Somit sind für jeden Zeitpunkt jeweils die Werte für die vier Signalgruppen angegeben.

[0073] In einer ersten Zeile 24 sind die Zeitpunkte für zukünftige Zeiten mit t für die Gegenwart und t+01, t+02, t+03 usw. jeweils für die Gegenwart + 1 Sekunde, 2 Sekunden usw. aufgetragen. Zu jedem Zeitpunkt sind in den Spalten unter den Zeitpunkten jeweils die Wahrscheinlichkeiten für eine Grünphase angegeben. In einer letzten Spalte 23 sind die mithilfe der künstlichen Intelligenz ermittelten Schaltzeitpunkte für die jeweilige Signalgruppe zu den jeweiligen Zeiten angegeben. Somit wird für den 25.01.2017 um 13:02 Uhr und 1 Sekunde für die erste Signalgruppe der Schaltzeitpunkt von 3 Sekunden angegeben. Zudem ist für den Zeitpunkt 13:02 Uhr und 1 Sekunde für die erste Signalgruppe sgr 01 zum Zeitpunkt t+01 eine Wahrscheinlichkeit von 1 % gegeben, dass ein Grünsignal, d.h. freie Fahrt von der Signalgruppe 1 angezeigt wird. Zum Zeitpunkt t+02 besteht die Wahrscheinlichkeit für ein Grünsignal ebenfalls bei 1 %. Für den Zeitpunkt t+03 liegt die Wahrscheinlichkeit ebenfalls nur bei 2 % für ein Grünsignal. Für den Zeitpunkt t+04 liegt die Wahrscheinlichkeit bei 97 % für ein Grünsignal. Dies ist dadurch erklärbar, da der Schaltzeitpunkt bei 3 Sekunden ermittelt wurde. Der Schaltzeitpunkt berechnet die Zeit, die ausgehend zum Zeitpunkt t vergeht, bis das Signal der Signalgruppe umgeschaltet wird. Die Wahrscheinlichkeit ist für die Zeitpunkte t+5 bis t+20 bei einem Wert von 99 %. Erst bei dem Zeitpunkt t+25 sinkt die Wahrscheinlichkeit auf 93 % und bei einem Zeitpunkt t+30 auf die Wahrscheinlichkeit von 79 % für ein Grünsignal.

[0074] In der gleichen Weise ist für die Zeit 25.01.2017 um 13:02 Uhr und 1 Sekunde für die zweite Signalgruppe sgr 02 der Schaltzeitpunkt mit 3 Sekunden berechnet und in der letzten Spalte 23 angegeben. Die Wahrscheinlichkeiten sind für die Zeitpunkte t+01 und t+02 jeweils mit 1 % für ein Grünsignal angegeben. Für den Zeitpunkt t+03 ist die Wahrscheinlichkeit bei 2 % für ein Grünsignal. Für den Zeitpunkt t+04 ist die Wahrscheinlichkeit für ein Grünsignal bei 97 %. Für die Zeitpunkte t+05 bis t+20 liegt die Wahrscheinlichkeit für ein Grünsignal bei 99 %. Bei der dritten Signalgruppe sgr_03 ist für den Zeitpunkt des 25.02.2017 um 13:02 Uhr und 1 Sekunde der Schaltzeitpunkt mit 29 Sekunden berechnet. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für ein Grünsignal für die Zeitpunkte t+1 bis t+25 nur bei 1 %. Für den Zeitpunkt t+30 ist die Wahrscheinlichkeit für ein Grünsignal bei 12 %.

[0075] In entsprechender Weise sind die Schaltzeitpunkte sekundlich, das heißt für die Uhrzeit 13:02 Uhr und 2 Sekunden und 13:02 Uhr und 3 Sekunden für die Signalgruppen für die Zukunft angegeben. Entsprechend sind auch die Wahrscheinlichkeiten für ein Grünsignal für die Zukunft angegeben.

[0076] Die Schaltzeitpunkte der Signalgruppen und die Wahrscheinlichkeit für die Signalzustände der Signalgruppen kann von der Recheneinheit 4 an eine externe Recheneinheit und insbesondere an Fahrzeuge übermittelt werden.

[0077] FIG 5 zeigt in einer schematischen Darstellung die Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Signalzustand einer Signalgruppe. Die Signalgruppe kann als Lichtsignalanlage, insbesondere als Verkehrsampel ausgebildet sein. Der Signalzustand kann z.B. ein Grünsignal der Verkehrsampel sein. Entlang der y-Achse ist eine Wahrscheinlichkeit P in Prozent und entlang der x-Achse der Zeitverlauf t in der Zukunft aufgetragen. Beispielsweise kann der Prognosezeitraum bis zu 180 Sekunden in die Zukunft reichen, jedoch auch kürzer oder auch länger sein. Die Wahrscheinlichkeit von 100 % entspricht einer sicheren Prognose für das Grünsignal.

[0078] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben

wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

5 Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage eines Schaltzeitpunktes einer Signalgruppe einer Signalanlage von einem Signalzustand in einen zeitlich folgenden Signalzustand zur Steuerung eines Verkehrsflusses einer Straße mithilfe einer Recheneinheit mit folgenden Verfahrensschritten:
10 Prognostizieren des Schaltzeitpunktes von dem Signalzustand zu dem folgenden Signalzustand unter Berücksichtigung von Daten eines Verkehrs der Straße und dem Signalzustand der Signalgruppe mithilfe einer künstlichen Intelligenz, die von der Recheneinheit ausgeführt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Wahrscheinlichkeit für einen aktuellen Signalzustand und/oder eine Wahrscheinlichkeit für wenigstens einen zukünftigen Signalzustand wenigstens einer Signalgruppe unter Berücksichtigung der Verkehrsdaten der Straße und dem Signalzustand der Signalgruppe mithilfe der künstlichen Intelligenz von der Recheneinheit ermittelt wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei von der künstlichen Intelligenz wenigstens eine Information über ein Steuerprogramm berücksichtigt wird, das die Signalanlage steuert.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei von der künstlichen Intelligenz wenigstens eine aktuelle Zeit, insbesondere eine aktuelle Uhrzeit und/oder ein aktueller Wochentag und/oder ein aktueller Tag eines Monats und/oder ein aktueller Monat und/oder ein aktueller Feiertag berücksichtigt werden.
25
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei von der künstlichen Intelligenz eine Zykluszeit und/oder eine Umlaufzeit des Steuerprogramms berücksichtigt werden.
- 30 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei von der künstlichen Intelligenz berücksichtigt wird, ob es sich um eine zentrale Steuerung für mehrere Signalanlagen oder um eine lokale Steuerung handelt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei von der künstlichen Intelligenz eine Meldung und/oder eine Anforderung eines öffentlichen Transportmittels berücksichtigt werden.
35
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Prognose für einen festgelegten zukünftigen Zeitraum, insbesondere für 30 Sekunden oder länger durchgeführt wird, und wobei insbesondere die Prognose für mehrere Wechsel von Signalzuständen wenigstens der Signalgruppe durchgeführt wird.
- 40 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei von der künstlichen Intelligenz Verkehrsinformationen berücksichtigt werden.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Teil der Prognose des Schaltzeitpunktes in einer externen Recheneinheit, insbesondere in einer Cloud durchgeführt wird.
45
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die künstliche Intelligenz zum Prognostizieren des Schaltzeitpunktes von dem Signalzustand zu dem folgenden Signalzustand unter Berücksichtigung von Verkehrsdaten der Straße und den Signalzuständen der Signalgruppe trainiert wurde.
- 50 12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei zum Trainieren der künstlichen Intelligenz wenigstens eine der folgenden Parameter verwendet wird: eine Information über ein Steuerprogramm, das die Signalanlage steuert; eine aktuelle Zeit, insbesondere eine Tageszeit und/oder ein Wochentag und/oder ein Monat; eine Zykluszeit und/oder eine Umlaufzeit des Steuerprogramms; Vorliegen einer Festzeitsteuerung oder einer verkehrsabhängigen Steuerung oder einer zentralen Steuerung oder einer lokalen Steuerung; eine Meldung und/oder Anforderung eines öffentlichen Transportmittels; Verkehrsinformationen.
55
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei wenigstens ein Teil des Trainings der künstlichen Intelligenz in einer externen Recheneinheit, insbesondere in einer Cloud durchgeführt wird, und wobei nach dem Abschluss des Trai-

nings die trainierte künstliche Intelligenz an die Recheneinheit der Signalanlage übertragen wird.

- 5 **14.** Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei während des Betriebes der Signalanlage und der Prognose wenigstens des Schaltzeitpunktes von einem Signalzustand zu einem folgenden Signalzustand in vorgegebenen Zeitabständen die künstliche Intelligenz trainiert wird und die neu trainierte künstliche Intelligenz von der Recheneinheit verwendet wird.
- 10 **15.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens der prognostizierte Schaltzeitpunkt und/oder eine Wahrscheinlichkeit für einen aktuellen oder zukünftigen Signalzustand wenigstens einer Signalgruppe drahtlos an Verkehrsteilnehmer, insbesondere Fahrzeuge übermittelt wird.
- 15 **16.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die künstliche Intelligenz als neuronales Netzwerk, insbesondere als rekursives neuronales Netzwerk ausgebildet ist.
- 20 **17.** Computerprogrammprodukt mit Programmcode-Mitteln, die ausgebildet sind, um ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen, wenn diese auf einer Recheneinheit ausgeführt werden.
- 25 **18.** Recheneinheit, die ausgebildet ist, um ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.

FIG 1

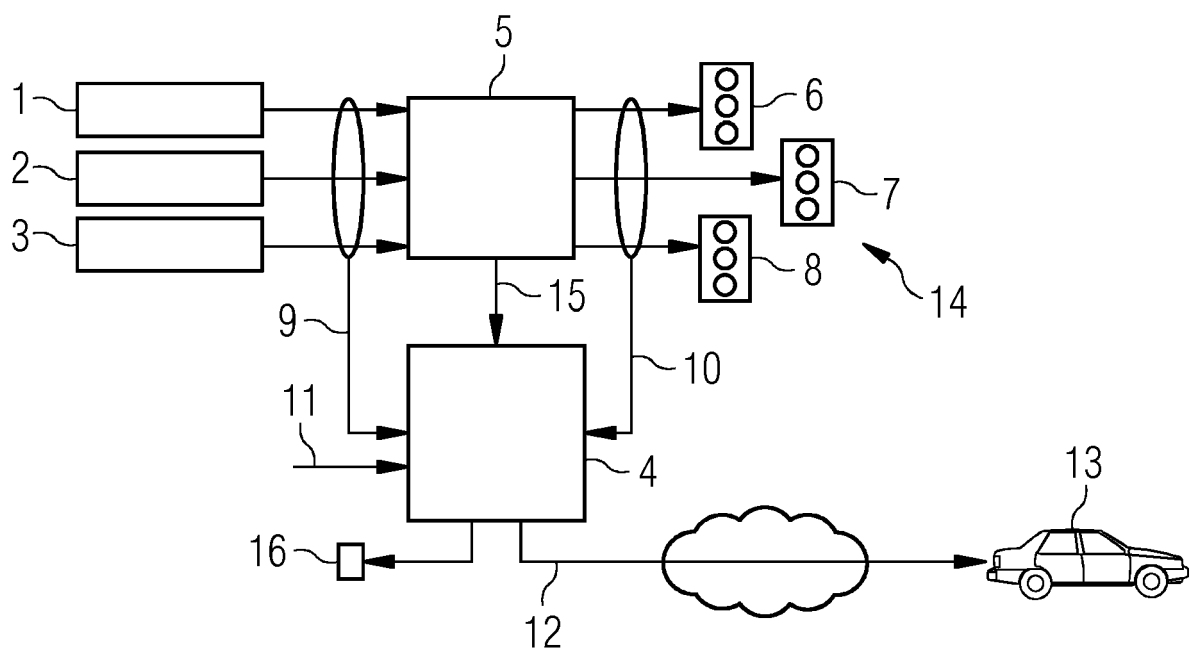


FIG 2

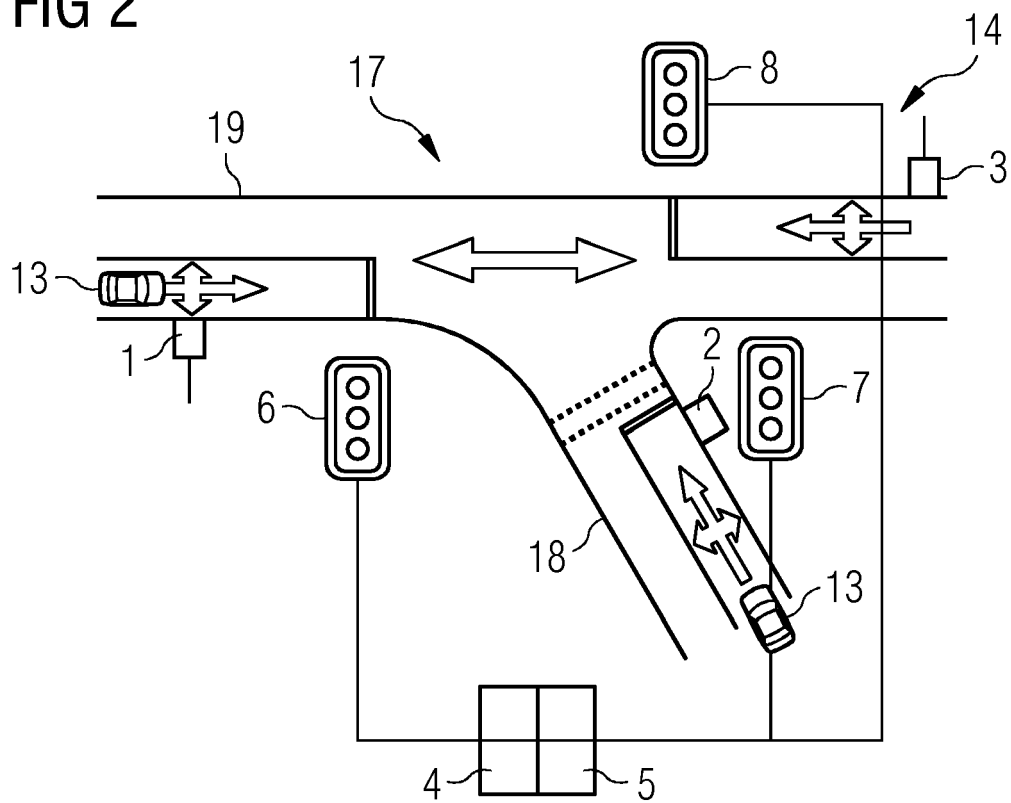


FIG 3

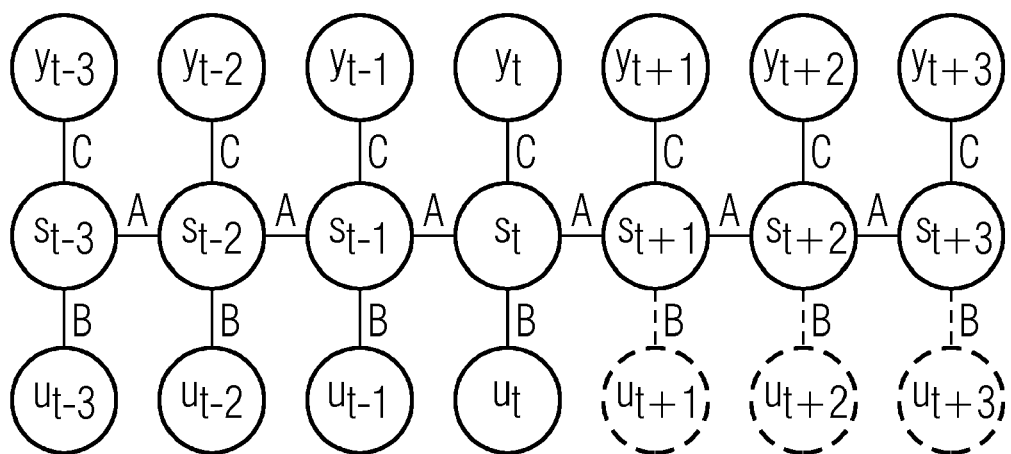
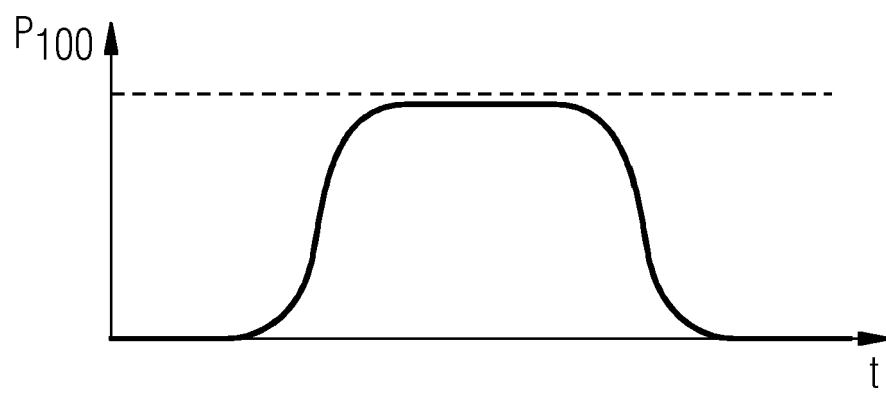


FIG 4

21	2017-01-25	13:02:01	t+01	t+02	t+03	t+04	t+05	t+06	t+07	t+08	t+09	t+10	t+15	t+20	t+25	t+30	USZP	23
	2017-01-25	13:02:01	1	1	2	97	99	99	99	99	99	99	99	99	93	79	3	
	2017-01-25	13:02:01	1	1	2	97	99	99	99	99	99	99	99	99	93	80	3	
	2017-01-25	13:02:01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	29	
	2017-01-25	13:02:01	1	1	2	98	99	99	99	99	99	99	99	99	86	80	3	
	2017-01-25	13:02:02	t+01	t+02	t+03	t+04	t+05	t+06	t+07	t+08	t+09	t+10	t+15	t+20	t+25	t+30	USZP	
	2017-01-25	13:02:02	1	1	97	99	99	99	99	99	99	99	99	99	89	85	2	
	2017-01-25	13:02:02	1	1	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	89	85	2	
	2017-01-25	13:02:02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	29	
	2017-01-25	13:02:02	1	1	97	99	99	98	99	99	99	99	99	99	86	90	2	
	2017-01-25	13:02:03	t+01	t+02	t+03	t+04	t+05	t+06	t+07	t+08	t+09	t+10	t+15	t+20	t+25	t+30	USZP	
	2017-01-25	13:02:03	1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	91	90	1	
	2017-01-25	13:02:03	1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	91	90	1	
	2017-01-25	13:02:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	29	
	2017-01-25	13:02:03	1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	91	90	1	

n, Tokic, Depeweg (CT RDA BAM)

FIG 5



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

- EP 1252566 B1 [0070]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **S. HAYKIN.** Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Macmillan College Publishing Company, 1999, 732-789 [0051]
- Modeling Dynamical Systems by Error Correction Neural Networks. **ZIMMERMANN HG. ; NEUNEIER R. ; GROTHMANN R.** Modelling and Forecasting Financial Data. Studies in Computational Finance. Springer, 2002, vol. 2 [0070]