



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 222 484.6**

(51) Int Cl.: **G08G 1/14 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **20.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2020**

(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2011 / 0 218 940 A1**  
**CN 102 855 773 A**

(72) Erfinder:  
**Bakucz, Peter, 86836 Klosterlechfeld, DE**

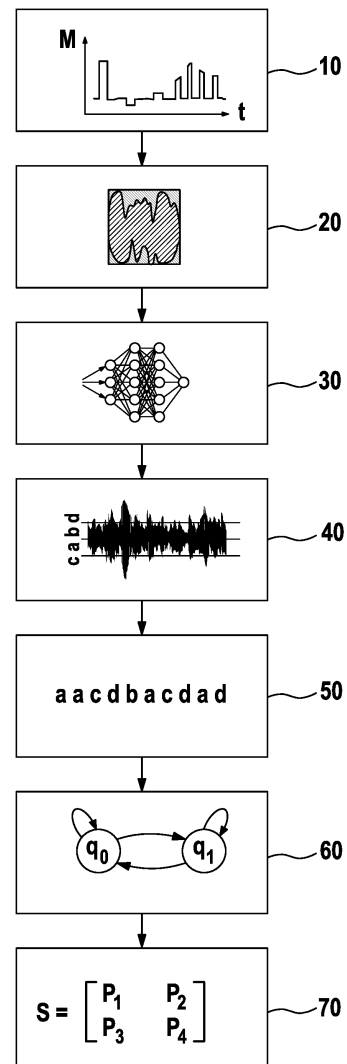
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes, mit den Schritten:

- Zyklisches dreidimensionales Erfassen von geomagnetischen Messwerten (M);
- Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbole der Symbolsequenz in einer Analysephase durch Ermitteln von Wavelet-Koeffizienten durch Anwenden von Wavelet-Transformationen auf jeweils eine definierte Anzahl der geomagnetischen Messwerte (M) ermittelt wurden; wobei
- die Symbole der Symbolsequenz aus Daten eines in der Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks ermittelt wurden, wobei eine Anzahl und eine Auswahl der trainierten neuronalen Netzwerke von einer Signalqualität der geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von der Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, die in der Offline-Analysephase trainiert wurde; und
- Ermitteln des Verfügbarkeitszustands des Parkplatzes durch Auswerten einer Übergangsmatrix (S) des Zustandsautomaten.



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes. Die Erfindung betrifft ferner einen tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors. Die Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt.

#### Stand der Technik

**[0002]** Parken stellt im Zusammenhang mit Fahrzeugverkehr ein großes Problem mit bedeutenden Auswirkungen auf Verkehrsstauungen und Stadtlandschaften dar. Eine Reduktion von Parkraum führt zunehmend zur Entwicklung von vollautomatisierten und mechanischen Parksensoren, wobei diese Systeme jedoch, auch aufgrund ihrer Errichtungs- und Erhaltungskosten, begrenzt sind.

**[0003]** Die magnetische Signalstärkenanalyse in einem APLM-Umfeld (engl. automated parking lots management) ist ein stark nichtlineares Problem und kann durch adaptive Strukturen basierend auf Referenzmessungen approximiert werden.

**[0004]** In der Literatur ist eine Detektion und Zuordnung von Parkplätzen mittels verschiedener MEMS-basierter Sensoren bekannt. Beispielsweise umfassen gängige Verfahren ein digitales Filtern und Auswerten von Schwellwerten, eine geeignete orthogonale Zerlegung (engl. proper orthogonal decomposition, POD) (Bengio et al., Representation learning: A review and new perspectives. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2013) und eine dynamische Moden-Zerlegung (Erhan et al., Why does unsupervised pre-training help deep learning? The Journal of Machine Learning Research, 2010), welche Werkzeuge aus der Spektraltheorie verwenden, um räumlich kohärente Strukturmoden abzuleiten.

**[0005]** Im Stand der Technik sind ferner neuronale Tiefenlern-Netzwerke (engl. deep belief neural network, DBN) seit vielen Jahren bekannt, beispielsweise aus G. E. Hinton, Deep belief networks, Scholarpedia.

**[0006]** Das Prinzip von Zeitreihen-Analyse ist im Zusammenhang mit einer Erkennung von Anomalien in physikalischen Systemen bekannt, z.B. aus Larochelle, H., Bengio Y., Classification using discriminative restricted Boltzmann machines, Proceedings of the 25th international conference on machine learning, 2008.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen kostengünstigen, effizienten magnetischen Parksensoren bereitzustellen.

**[0008]** Die Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst mit einem Verfahren zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes, mit den Schritten:

- Zyklisches dreidimensionales Erfassen von geomagnetischen Messwerten;
- Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbole der Symbolsequenz in einer Analysephase durch Ermitteln von Wavelet-Koeffizienten durch Anwenden von Wavelet-Transformationen auf jeweils eine definierte Anzahl der geomagnetischen Messwerte ermittelt wurden; wobei
- die Symbole der Symbolsequenz aus Daten eines in der Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks ermittelt wurden, wobei eine Anzahl und eine Auswahl der trainierten neuronalen Netzwerke von einer Signalqualität der geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von der Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerks repräsentiert, die in der Offline-Analysephase trainiert wurde; und
- Ermitteln des Verfügbarkeitszustands des Parkplatzes durch Auswerten einer Übergangsmatrix des Zustandsautomaten.

**[0009]** Die definierte Anzahl der Symbole wird dabei anhand von z.B. 512 Ringspeicher-Werten bestimmt, so dass, wenn die sogenannte „fraktale-Dimension“ (Ungeordnetheit, Schwankungsbreite) der 512 Elemente des Ringspeichers kleiner als „a“ ist (die fraktale Dimension wird vorher online bestimmt) ist, acht Klassen von Symbolen a... h benutzt werden. Andernfalls reichen vier Klassen von Symbolen a...d. Auf diese Weise

wird vorteilhaft ein Verfahren bereitgestellt, welches „in absoluter Weise“ einen Verfügbarkeitszustand eines Parkplatzes erkennen kann. Vorteilhaft lässt sich ein Teil des Verfahrens in Recheneinheiten mit begrenzter Rechenkapazität im Embedded Umfeld einsetzen, sodass derart realisierte Parksensoren stromsparend viele Jahre im Feld betrieben werden können. Vorteilhaft lassen sich mit der obersten Schicht des neuronalen Netzwerks die Übergänge der Belegungen des Parkplatzes am besten darstellen. Dadurch werden die magnetischen Messwerte als eine Zeitreihe ohne physikalische Bedeutung dargestellt.

**[0010]** Anhand von der Qualität von Inputs in x-, y-, und z-Richtung von geomagnetischer Messreihen wird eine Anzahl der Schichten des neuronalen Netzwerk ausgewählt, wodurch in der „Offline-Analysephase“ verschiedene neuronale Netzwerke vorhanden sind, die dann entsprechend trainiert werden. Eingangsdaten sind immer vorzugsweise 512-elementige Magnetvektoren mit x-Werten (d.h. ohne y- und z-Werte aus z.B. mehrere Millionen Messpunkten). Ausgänge sind die entsprechenden Referenzwerte. Die letzte bzw. oberste Schicht (engl. layer) der neuronalen Netzwerke wird mittrainiert.

**[0011]** In der Online-Analyse (d.h. in der Nutzungsphase des Parksensors) werden die Neuronen als Aktivierungselemente benutzt, wobei das Hidden-Layer-Element jedoch nur einmal berechnet wurde. Somit wird in der Anwendung im Parksensoren die aktuelle 512-elementige Messwertreihe als Eingang benutzt und die letzte Schicht als Symbolsequenz. Die Hidden Layer Neuronen werden nur einmal trainiert, und sind dann fix. In der Nutzungsphase werden also nicht, wie es im Stand der Technik üblich ist, die Ausgänge der neuronalen Netzwerke benutzt, sondern die durch die letzten Hidden Layer Elemente bestimmten Werte, die von den aktuellen Eingangs-Magnetwerten abhängig sind.

**[0012]** Dazu ist vorgesehen, dass in der Offline-Analysephase so viele neuronale Netzwerke trainiert werden, wie es die Referenzdatenbank vorschreibt. Vorzugsweise kann dabei eine Anzahl der neuronalen Netzwerke zehn betragen. Wenn die Referenzdatenbank sehr „fraktalisch“ Datensätze aufweist, werden z.B. die Netzwerke Nr. 1 bis Nr. 5 trainiert, wenn die Datensätze weniger fraktalisch ausgebildet sind, dann werden z.B. die Netzwerke Nr. 5 bis Nr. 10 trainiert. Die fraktale Dimension wird für die 512 geomagnetischen Messwerte ermittelt und eingeordnet. Wenn z.B.  $1 < \text{fraktale Dimension} < 1.08$ , wird z.B. Klasse 10 gewählt, wenn z.B.  $1.09 < \text{fraktale Dimension} < 1.19$ , wird z.B. Klasse 9 gewählt, usw. bis zur Klasse 1.

**[0013]** Gemäß einem zweiten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einem tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren, aufweisend:

- eine Erfassungseinrichtung zum zyklischen dreidimensionalen Erfassen von geomagnetischen Messwerten im Bereich eines Parkplatzes;
- eine funktional mit der Erfassungseinrichtung verbundene First-In-First-Out-Speichereinrichtung, in die die geomagnetischen Messwerte ladbar sind; und
- eine funktional mit der First-In-First-Out-Speichereinrichtung verbundene Ermittlungseinrichtung, die eingerichtet ist:
  - zum Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz aus Wavelet-Transformierten der geomagnetischen Messwerte mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbolsequenz Daten eines in einer Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks umfasst, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von einer Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, das in der Analysephase trainiert wurde;
  - zum Bereitstellen eines Zustandsautomaten aus einer definierten Anzahl von Symbolen der Symbolsequenz; und
  - zum Auswerten der definierten Anzahl der Symbole der Symbolsequenz mittels einer Übergangsmatrix des Zustandsautomaten, wobei der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes durch ein Ermitteln einer Determinante der Übergangsmatrix ermittelt wird.

**[0014]** Gemäß einem dritten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einem Verfahren zum Herstellen eines tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen einer Erfassungseinrichtung zum zyklischen dreidimensionalen Erfassen von geomagnetischen Messwerten im Bereich eines Parkplatzes;
- Bereitstellen einer funktional mit der Erfassungseinrichtung verbundenen First-In-First-Out-Speichereinrichtung, in die die geomagnetischen Messwerte ladbar sind; und

- Bereitstellen einer funktional mit der First-In-First-Out-Speichereinrichtung verbundene Ermittlungseinrichtung, die eingerichtet ist:
- zum Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz aus Wavelet-Transformierten der geomagnetischen Messwerte mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbolsequenz Daten eines in einer Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks umfasst, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von einer Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, das in der Analysephase trainiert wurde;
- zum Bereitstellen eines Zustandsautomaten aus einer definierten Anzahl von Symbolen der Symbolsequenz; und
- zum Auswerten der definierten Anzahl der Symbole der Symbolsequenz mittels einer Übergangsmatrix des Zustandsautomaten, wobei der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes durch ein Ermitteln einer Determinante der Übergangsmatrix ermittelt wird.

**[0015]** Bevorzugte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen.

**[0016]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes zeichnet sich dadurch aus, dass in der Analysephase für die Wavelet-Transformationen identische Mutter-Wavelet-Funktionen oder unterschiedliche Mutter-Wavelet-Funktionen verwendet wurden, wobei die Werte der Wavelet-Transformationen Eingänge des neuronalen Netzwerks und die Symbole der Symbolsequenzen die Ausgänge des neuronalen Netzwerks sind.. Dadurch können die Koeffizienten in geeigneter Weise zum Erzeugen von Abbildern der geomagnetischen Messwerte generiert werden. Vorzugsweise werden innerhalb eines Projekts immer dieselben Mutter-Wavelet-Funktionen benutzt, weil diese innerhalb eines Projektes identisch sein sollten. Unterschiedliche Projekte können vorteilhaft aber unterschiedliche Mutter-Wavelet-Funktionen haben.

**[0017]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes zeichnet sich dadurch aus, dass das neuronale Netzwerk in einer externen Rechnervorrichtung implementiert ist. Vorteilhaft kann dadurch auch die Ermittlung der obersten Schicht des neuronalen Netzwerks in einem leistungsfähigen Rechenzentrum mit sehr hohen Rechenkapazitäten effizient ermittelt werden. Auf diese Weise wird das Deep-Belief-Netzwerk offline trainiert, d.h. dass eine Referenzdatenbank für das Verfahren benötigt wird, bei der der Parkstatus-Referenzwert für Tausende von Magnetsensorversuchen verwendet wird (Lernphase). Dies wird offline durchgeführt, wobei aber bei der Anwendung im Embedded Bereich in Echtzeit nur die oberste Schicht benutzt wird. Vorteilhaft kann das neuronale Netzwerk immer wieder neu belegt werden, und/oder weiterlernen, und/oder neuere Testergebnisse berücksichtigen, wobei dadurch die oberste Sicht deutlich verbessert wird. Im Ergebnis „lebt“ das Verfahren somit auf „dynamische Weise“.

**[0018]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes zeichnet sich daraus, dass der Zustandsautomat aus der Symbolsequenz gebildet wird, wobei eine Übergangsmatrix aus dem Zustandsautomaten aufgebaut wird, aus dessen Determinante der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes ermittelt wird. Dadurch wird ein mathematischer Auswertemechanismus bereitgestellt, der in zuverlässiger Weise einen Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes anzeigt.

**[0019]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors zeichnet sich daraus, dass der Zustandsautomat beispielsweise aus vier oder acht Symbolen der Symbolsequenz gebildet wird. Vorteilhaft wird dadurch nur eine begrenzte Anzahl von Symbolen der Symbolsequenz ausgebildet, was eine Implementierung auf einem rechenkapazitätsbeschränkten Mikrorechner des Parksensors erleichtert.

**[0020]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des magnetischen Parksensors zeichnet sich daraus, dass die First-In-First-Out-Speichereinrichtung für eine Zweierpotenz der geomagnetischen Messwerte ausgebildet ist, vorzugsweise für mehr als 512 Messwerte. Dadurch können jeweils Sätze von aktuellen geomagnetischen Messwerten verwendet werden. Durch die Zweierpotenz kann programmtechnisch auf einfache Weise die Kapazität der First-In-First-Out-Speichereinrichtung durch Ändern des Exponenten geändert werden. Vorteilhaft ist dadurch unterstützt, dass in Abhängigkeit vom Exponenten eine Detektionsrate einstellbar ist. Vorteilhaft lässt sich diese Weise eine Detektionsgenauigkeit des magnetischen Parksensors dimensionieren.

**[0021]** Die Erfindung wird im Folgenden mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand von mehreren Figuren im Detail beschrieben. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente haben gleiche Bezugszeichen.

**[0022]** Offenbarte Verfahrensmerkmale ergeben sich analog aus entsprechenden offenbarten Vorrichtungsmerkmalen und umgekehrt. Dies bedeutet insbesondere, dass sich Merkmale, technische Vorteile und Ausführungen betreffend den tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren in analoger Weise aus entsprechenden Ausführungen, Merkmalen und Vorteilen betreffend das Verfahren zum Herstellen eines tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors oder betreffend das Verfahren zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes ergeben und umgekehrt.

**[0023]** In den Figuren zeigt:

**Fig. 1** eine prinzipielle Darstellung eines Ablaufs des vorgeschlagenen Verfahrens zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes; und

**Fig. 2** ein prinzipielles Blockschaltbild einer Ausführungsform eines vorgeschlagenen tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0024]** Eine Kernidee der vorliegenden Erfindung besteht insbesondere darin, einen kostengünstigen magnetischen Parksensoren vorzuschlagen, der auf einer magnetischen Signalanalyse basiert.

**[0025]** **Fig. 1** zeigt einen prinzipiellen Ablauf einer Ausführungsform des vorgeschlagenen Verfahrens zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes, wobei das Verfahren zum Teil online auf einem vorgeschlagenen tiefenlern-basierten Parksensoren (nicht dargestellt) und zum Teil offline auf einer Analyseeinrichtung (nicht dargestellt) abläuft.

**[0026]** In einem Schritt **10** ist ein Erfassen eines geomagnetischen Signal  $M$  in drei Koordinaten  $x, y, z$  („dreidimensionales Erfassen“) mittels des tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors angedeutet. Danach werden die erfassten geomagnetischen genannten Messwerte in einen First-in-First-Out-Speicher (nicht dargestellt) eingelesen, der mindestens eine Größe von 512 Speicherelementen aufweist.

**[0027]** Auf jeweils einen Satz der genannten geomagnetischen Messwerte wird nunmehr zyklisch jeweils eine Wavelet-Transformation durchgeführt, wobei auf diese Weise Wavelet-Koeffizienten aus den geomagnetischen Messwerten ermittelt werden. Dabei ist es denkbar, die genannte Wavelet-Transformation mit gleichen Mutter-Wavelet-Funktionen oder mit jeweils unterschiedlichen Mutter-Wavelet-Funktionen durchzuführen. Aufgrund von Konvergenzzuständen ist es vorteilhaft, eine Mutter-Wavelet-Funktion für ein Projekt zu benutzen und nicht zu variieren. Die Detektionsqualität wird aber nicht beeinflusst, nur könnte es sein, dass dadurch keine Konvergenz gefunden wird und man sehr lange (evtl. monatelang) iteriert werden muss oder man sogar in einem Dead-Lock landet.

**[0028]** In einem Schritt **30** werden die genannten Koeffizienten einem neuronalen Netzwerk zugeführt, welches in Form eines neuronalen deep belief networks mit einer Mindestanzahl, vorzugsweise wenigstens zwanzig Schichten (engl. hidden layer) ausgebildet ist, die voneinander „lernen“. Die Anzahl der Layer bzw. Schichten wird mittels der Signalqualität ermittelt, wobei eine Art „Dispersivität“ benutzt und anhand dieser Werte die Layer und die Neuronen (Knotenpunkte des neuronalen Netzes) bestimmt wird.

**[0029]** Das neuronale Netzwerk ist vorzugsweise offline in einem hoch leistungsfähigen Rechenzentrum mit hoher Rechenkapazität implementiert. Vorgesehen ist, dass dieses Deep-Belief-Netzwerk bzw. Tief-Lern-Netzwerk offline trainiert wird, d.h. dass eine Referenzdatenbank für das Verfahren benötigt wird, bei der der Parkstatus-Referenzwert für Tausende von Magnetsensorenversuchen verwendet wird (Lernphase). Diese wird offline durchgeführt, wobei aber dann in der praktischen Anwendung im Embedded Bereich in Echtzeit wird nur die oberste Schicht benutzt wird.

**[0030]** Im Ergebnis wird mittels des neuronalen Netzwerks, wie in Schritt **40** dargestellt, aus den Hidden Layer Neuronen der geomagnetischen Messwerten ein zeitliches Signal ohne physikalische Bedeutung, welches zwischen mehreren Werten definiert oszilliert, gebildet. Wertebereiche dieses Signals repräsentieren dabei Symbole  $a, b, c, d$ , usw. einer Symbolsequenz. Falls die fraktale Dimension der Neuronensignale der Top Layer groß ist, sollten acht Symbole benutzt werden ( $a, b, c, d, e, f, g, h$ ), weil in diesem Fall vier Symbole nicht ausreichend sind.

**[0031]** Schritt **40** repräsentiert das Ergebnis der obersten Schicht des neuronalen Netzwerkes mit insgesamt vier Symbolen a, b, c, d (oder acht Symbolen a... h), wobei die oberste Schicht am besten die Transitionen bzw. Übergänge zwischen Belegt- auf Freizuständen des Parkplatzes repräsentiert.

**[0032]** Die Algorithmen werden mittels Synchronisation der Reihe der geomagnetischen Messwerte gemeinsam mit nachfolgender Bildung eines Zustandsautomaten formuliert. Nachdem die Partitionierung (im Sinne einer Maximum-Entropie-Partitionierung) wie oben erläutert, durchgeführt worden ist, wird jedem Datenpunkt der Zeitreihe ein Symbol derjenigen Partitionierung zugewiesen, der es angehört. Je mehr Partitionen erzeugt werden, desto genauer ist das Ergebnis, aus Rechenkapazitätsgründen wird die Symbolsequenz jedoch vorzugsweise in acht Symbole „partitioniert“, was eine Implementierung des Verfahrens im Embedded-Bereich erleichtert.

**[0033]** In einem Schritt **50** ist angedeutet, dass aus der Zeitreihe eine Symbolsequenz mit mehreren Symbolen gebildet wird.

**[0034]** In einem Schritt **60** wird eine ausgewählte Anzahl an Symbolen, beispielsweise vier oder acht Symbole einem Zustandsautomaten, z.B. in Form eines Zustandsautomaten zugeführt, der insgesamt zwei Zustände  $q_0, q_1$  kennt, die einen Belegt- und einen Frei-Zustand des Parkplatzes (z.B.  $q_0$  = Frei,  $q_1$  = Belegt) repräsentieren. Der Zustandsautomat basiert auf der algebraischen Struktur des Zustandsautomaten und wird aus den Symbolsequenzen gebildet.

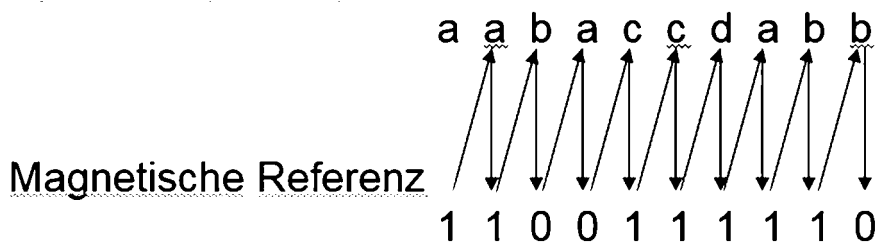
**[0035]** In einem Schritt **70** wird aus dem Zustandsautomaten eine Parkstatus-Übergangsmatrix S gebildet, wobei jedes Element der Parkstatus-Übergangsmatrix S Wahrscheinlichkeiten für Übergänge zwischen Frei- und Belegt-Zuständen des Parkplatzes repräsentieren. Die Wahrscheinlichkeiten für Verfügbarkeitszustände des Parkplatzes sind dabei wie folgt:  $P1 = P(\text{frei} \rightarrow \text{frei})$   $P2 = P(\text{frei} \rightarrow \text{besetzt})$   $P3 = P(\text{besetzt} \rightarrow \text{frei})$  und  $P4 = P(\text{besetzt} \rightarrow \text{besetzt})$ .

**[0036]** Durch eine Berechnung der Determinante der Parkstatus-Transitionsmatrix S können ein Belegt- und ein Frei-Zustand des Parkplatzes ermittelt werden.

**[0037]** Nachfolgend wird eine beispielhafte Ausbildung der Übergangsmatrix dargestellt, aus deren Determinante ein Belegt-Zustand (engl. occupied) des Parkplatzes in einer Online-Embedded-Anwendung in einem Parksensoren ermittelt wird:

Beispiel

Symbolsequenz (sei  $a = 1, b = 2, c = 3, d = 4$ )



Übergänge

$1 \rightarrow 1$  via a (1 a 1)

$1 \rightarrow 0$  via b (1 b 0)

$0 \rightarrow 0$  via a (0 a 0)

$0 \rightarrow 1$  via c (0 c 1)

$1 \rightarrow 1$  via c (1 c 1)

$1 \rightarrow 1$  via d (1 d 1)

$1 \rightarrow 1$  via a (1 a 1)

$1 \rightarrow 1$  via d (1 b 1)

$1 \rightarrow 0$  via b (1 b 0)

Übergangswahrscheinlichkeiten

$$S = \begin{pmatrix} P(1 \rightarrow 1) & P(1 \rightarrow 0) \\ P(0 \rightarrow 1) & P(0 \rightarrow 0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2a + b + c + d & 2b \\ c & a \end{pmatrix} = -1 < a = 70 \rightarrow \text{Besetzt}$$

**[0038]** Im Berechnungsbeispiel bedeutet „a“ einen definierten Schwellwert, der in geeigneter Weise an verschiedene Umstände angepasst werden kann.

**[0039]** Man erkennt, dass die Parkstatus-Übergangsmatrix S mit ausgewählten Symbolwerten der Symbolsequenz belegt ist. Danach wird eine Determinante der Parkstatus-Übergangsmatrix S berechnet, woraufhin anhand eines Schwellwerts a bestimmt wird, ob ein Belegt-Zustand oder ein Frei-Zustand des Parkplatzes vorliegt. Man erkennt, dass im Beispiel der beispielhafte Schwellwert a überschritten ist, weshalb der Parkplatz als „Belegt“ erkannt wird. Bei Unterschreiten des beispielhaften Schwellwertes a = -1 würde ein Frei-Zustand des Parkplatzes erkannt werden.

**[0040]** Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform eines vorgeschlagenen tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors **100**.

**[0041]** Man erkennt eine Erfassungseinrichtung **10**, mittels derer x-, y-, und z-Komponenten des geomagnetischen Messwerts erfasst und einer First-In-First-Out-Speichereinrichtung **20** (z.B. ein Ringspeicher, engl. ring buffer), die mit einer Größe einer Zweierpotenz ausgebildet ist und wenigstens 512 Elemente umfasst, zugeführt werden. Durch die Zweierpotenz kann auf einfache Weise die Kapazität der First-In-First-Out-Speichereinrichtung **20** programmtechnisch durch Ändern des Exponenten geändert werden. Je größer dieser Wert der First-In-First-Out-Speichereinrichtung **20** ist, desto zuverlässiger funktioniert das vorgeschlagene Verfahren zum Erkennen eines Verfügbarkeitszustandes eines Parkplatzes.

**[0042]** Die Größe der First-In-First-Out-Speichereinrichtung **20** hängt auch von der Rechenkapazität der für den vorgeschlagenen magnetischen Parksensoren benutzten Hardware ab, die systembedingt oftmals nur geringe Batterie- und Rechenressourcen aufweist und vorgesehen ist, über eine lange Zeitdauer im Feld benutzt zu werden. Eine Recheneinheit des vorgeschlagenen magnetischen Parksensors ist vorzugsweise ein an sich bekannter Mikrocontroller oder -prozessor ausgebildet, der in Assemblercode programmiert wird.

**[0043]** Basierend auf einer Offline-Analyse einer großen Anzahl (beispielsweise mehreren Hundert) von Experimenten an einem geographischen Ort mit spezifischen erdmagnetischen Eigenschaften sowie einer ständigen weiterentwicklungsfähigen Lernfähigkeit des Systems, werden aus den geomagnetischen Messwerten die Symbolsequenzen ermittelt.

**[0044]** Die First-In-First-Out-Speichereinrichtung **20** ist funktional mit einer Ermittlungseinrichtung **30** verbunden, die auf die oben genannte Weise den Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes durch Berechnung der Determinante der Parkstatus-Übergangsmatrix S berechnet.

**[0045]** Vorteilhaft lässt sich das vorgeschlagene Verfahren im Embedded-Bereich in rechenkapazitätsarmen Mikrocontrollern realisieren, wobei derartige Mikrocontroller vorteilhaft wenig elektrische Energie verbrauchen. Dies bewirkt vorteilhaft, dass die vorgeschlagenen Zustandsautomat-basierten Parksensoren **100** für lange Zeit ohne Batteriewechsel im Feld agieren können. Eine kostengünstige Implementierung eines Internet-der-Dinge (engl. internet of things) ist auf diese Weise vorteilhaft unterstützt.

**[0046]** Vorteilhaft lässt sich dadurch ein Status eines Parkplatzes „global“ ermitteln, wobei ein Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes zum Beispiel auch nach einem elektrischen Energieausfall sofort korrekt ermittelt werden kann.

**[0047]** Gegenüber herkömmlichen Radar- oder Videobasierten System lassen sich Verfügbarkeitszustände von Parkplätzen wesentlich kostengünstiger und effizienter ermitteln.

**[0048]** In einer vorteilhaften Ausbildung kann vorgesehen sein, dass mehrere tiefenlern-basierte magnetische Parksensoren **100** miteinander vernetzt sind und auf diese Weise ein System bilden, welches Nutzer zu freien Parkplätzen lotsen kann.

**[0049]** Der tiefenlern-basierte magnetische Parksensoren **100** führt vorzugsweise in definierten Zeitintervallen, z.B. alle 10s oder 15s oder 20s eine Ermittlung eines Verfügbarkeitszustands des Parkplatzes durch.

**[0050]** Das Verfahren ist als ein Computerprogrammprodukt ausgebildet, das Programmcodemittel zum Ausführen des Verfahrens auf dem tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren **100** aufweist, vorzugsweise in Form eines in Assembler, C, C++, usw. codierten Softwareprogramms.

**[0051]** Obwohl die Erfindung vorgehend anhand von konkreten Ausführungsbeispielen beschrieben worden ist, kann der Fachmann vorgehend auch nicht oder nur teilweise offenbarte Ausführungsformen realisieren, ohne vom Kern der Erfindung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Verfügbarkeitszustands eines Parkplatzes, mit den Schritten:
  - Zyklisches dreidimensionales Erfassen von geomagnetischen Messwerten (M);
  - Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbole der Symbolsequenz in einer Analysephase durch Ermitteln von Wavelet-Koeffizienten durch Anwenden von Wavelet-Transformationen auf jeweils eine definierte Anzahl der geomagnetischen Messwerte (M) ermittelt wurden; wobei
  - die Symbole der Symbolsequenz aus Daten eines in der Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks ermittelt wurden, wobei eine Anzahl und eine Auswahl der trainierten neuronalen Netzwerke von einer Signalqualität der geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von der Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, die in der Offline-Analysephase trainiert wurde; und
  - Ermitteln des Verfügbarkeitszustands des Parkplatzes durch Auswerten einer Übergangsmatrix (S) des Zustandsautomaten.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in der Analysephase für die Wavelet-Transformationen identische Mutter-Wavelet-Funktionen oder unterschiedliche Mutter-Wavelet-Funktionen verwendet wurden, wobei die Werte der Wavelet-Transformationen Eingänge des neuronalen Netzwerks und die Symbole der Symbolsequenzen die Ausgänge des neuronalen Netzwerks sind.
  
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das neuronale Netzwerk in einer externen Rechnervorrichtung implementiert ist.
  
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Zustandsautomat aus der Symbolsequenz gebildet wird, wobei eine Übergangsmatrix aus dem Zustandsautomaten aufgebaut wird, aus dessen Determinante der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes ermittelt wird.
  
5. Tiefenlern-basierter magnetischer Parksensoren (100), aufweisend:
  - eine Erfassungseinrichtung (10) zum zyklischen dreidimensionalen Erfassen von geomagnetischen Messwerten (M) im Bereich eines Parkplatzes;
  - eine funktional mit der Erfassungseinrichtung (10) verbundene First-In-First-Out-Speichereinrichtung (20), in die die geomagnetischen Messwerte (M) ladbar sind; und
  - eine funktional mit der First-In-First-Out-Speichereinrichtung (20) verbundene Ermittlungseinrichtung (30), die eingerichtet ist:
    - zum Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz aus Wavelet-Transformierten der geomagnetischen Messwerte (M) mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbolsequenz Daten eines in einer Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks umfasst, wobei die Symbole der Symbolsequenz aus Daten eines in der Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks ermittelt wurden, wobei eine Anzahl und eine Auswahl der trainierten neuronalen Netzwerke von einer Signalqualität der geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von der Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, die in der Analysephase trainiert wurde;
    - zum Bereitstellen eines Zustandsautomaten aus einer definierten Anzahl von Symbolen der Symbolsequenz; und
    - zum Auswerten der definierten Anzahl der Symbole der Symbolsequenz mittels einer Übergangsmatrix des Zustandsautomaten, wobei der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes durch ein Ermitteln einer Determinante der Übergangsmatrix ermittelt wird.



6. Tiefenlern-basierter magnetischer Parksensoren (100) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zustandsautomat aus acht Symbolen der Symbolsequenz gebildet wird.

7. Tiefenlern-basierter magnetischer Parksensoren (100) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die First-In-First-Out-Speichereinrichtung (20) für eine Zweierpotenz der geomagnetischen Messwerte (M) ausgebildet ist, vorzugsweise für mehr als 512 Messwerte.

8. System aufweisend eine definierte Anzahl von miteinander vernetzten tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren (100) nach einem der Ansprüche 5 bis 7.

9. Verfahren zum Herstellen eines tiefenlern-basierten magnetischen Parksensors (100), aufweisend die Schritte:

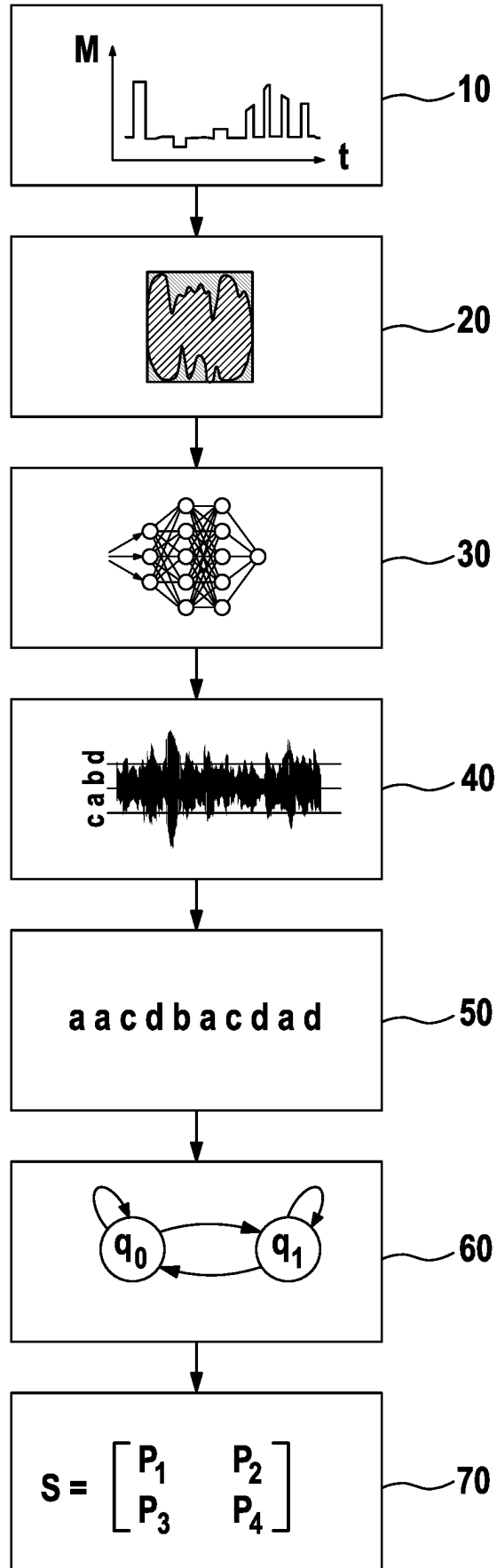
- Bereitstellen einer Erfassungseinrichtung (10) zum zyklischen dreidimensionalen Erfassen von geomagnetischen Messwerten (M) im Bereich eines Parkplatzes;
- Bereitstellen einer funktional mit der Erfassungseinrichtung (10) verbundenen First-In-First-Out-Speichereinrichtung (20), in die die geomagnetischen Messwerte (M) ladbar sind; und
- Bereitstellen einer funktional mit der First-In-First-Out-Speichereinrichtung (20) verbundene Ermittlungseinrichtung (30), die eingerichtet ist:
  - zum Auswerten einer definierten Anzahl von Symbolen einer Symbolsequenz aus Wavelet-Transformierten der geomagnetischen Messwerte (M) mittels eines Zustandsautomaten, wobei die Symbolsequenz Daten eines in einer Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks umfasst, wobei die Symbole der Symbolsequenz aus Daten eines in der Analysephase trainierten neuronalen Netzwerks ermittelt wurden, wobei eine Anzahl und eine Auswahl der trainierten neuronalen Netzwerke von einer Signalqualität der geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei eine Anzahl von Schichten des neuronalen Netzwerks von der Signalqualität der in der Analysephase erfassten geomagnetischen Messwerte abhängt, wobei die Symbolsequenz eine letzte Schicht des neuronalen Netzwerkes repräsentiert, die in der Analysephase trainiert wurde;
  - zum Bereitstellen eines Zustandsautomaten aus einer definierten Anzahl von Symbolen der Symbolsequenz; und
  - zum Auswerten der definierten Anzahl der Symbole der Symbolsequenz mittels einer Übergangsmatrix des Zustandsautomaten, wobei der Verfügbarkeitszustand des Parkplatzes durch ein Ermitteln einer Determinante der Übergangsmatrix ermittelt wird.

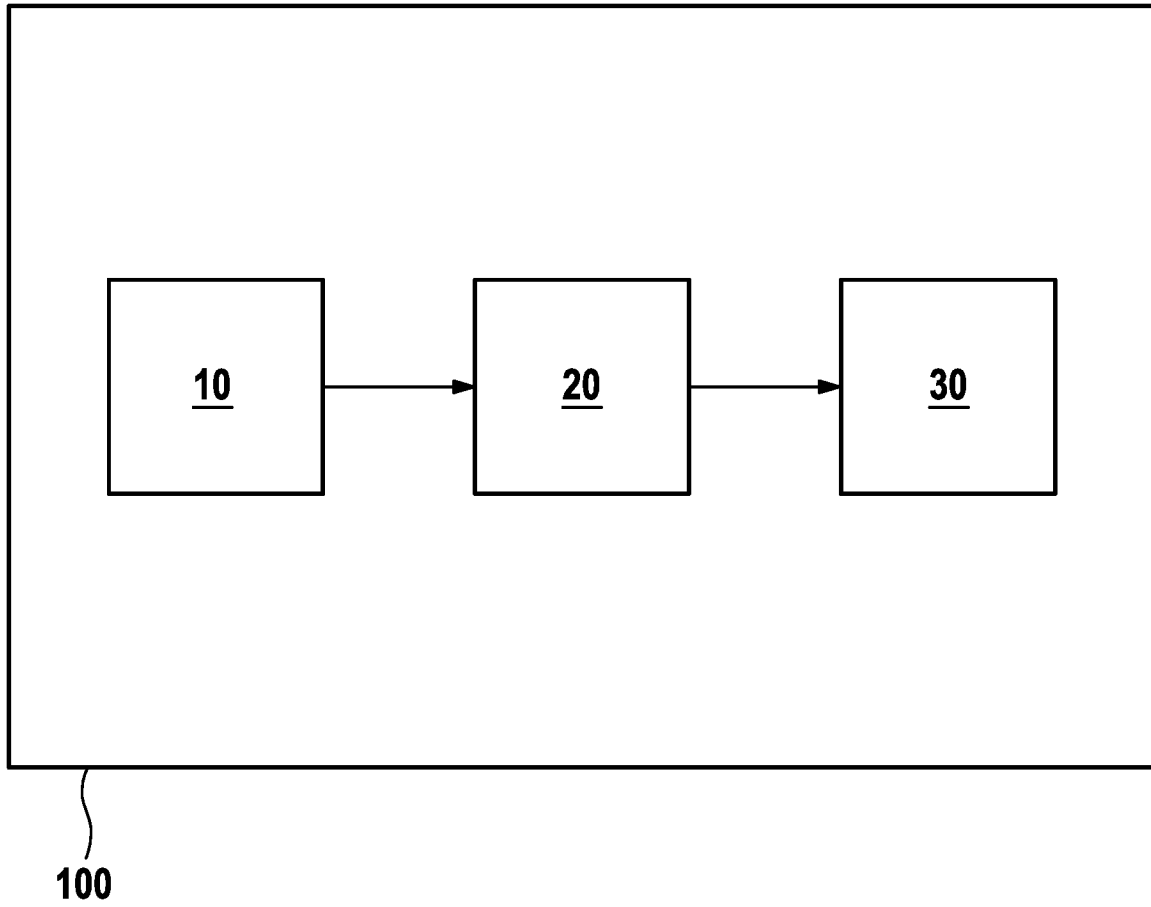
10. Computerprogrammprodukt aufweisend Programmcodemittel zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wenn es auf einem tiefenlern-basierten magnetischen Parksensoren (100) und auf einer Auswerteeinrichtung abläuft oder auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1





**FIG. 2**