

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
21. November 2013 (21.11.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/170843 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G06N 3/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2013/000197

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. April 2013 (17.04.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 009 502.3 14. Mai 2012 (14.05.2012) DE
61/688,433 14. Mai 2012 (14.05.2012) US

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **KISTERS AG** [DE/DE]; Charlottenburger Allee 5, 52068 Aachen (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder (nur für US): **DÖDING, Gerhard** [DE/DE]; Sperberweg 8, 28844 Weyhe (DE). **GERMÁN, László** [DE/DE]; Rotkehlchenweg 4, 26215 Wiefelstede (DE). **KEMPER, Klaus** [DE/DE]; Zum Immhof 17, 28844 Weyhe (DE).

(74) Anwalt: **CASTELL, Klaus**; Liermann-Castell, Willi-Bleicher-Str. 7, 52353 Düren (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)



WO 2013/170843 A1

(54) Title: METHOD FOR TRAINING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM TRAINIEREN EINES KÜNSTLICHEN NEURONALEN NETZES

(57) Abstract: The invention relates to a method for training an artificial neural network comprising at least one layer of input neurons and an output layer of output neurons which are adapted differently from the input neurons.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes, das mindestens eine Schicht mit Zubringerneuronen und eine Ausgabeschicht mit Ausgabeneuronen aufweist, die anders adaptiert werden als die Zubringerneuronen.

Verfahren zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes

[01] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes und Computerprogrammprodukte.

[02] Insbesondere betrifft das Verfahren das Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes, das mindestens eine verdeckte Schicht mit Zubringerneuronen und eine Ausgabeschicht mit Ausgabeneuronen aufweist.

[03] Künstliche neuronale Netze sind in der Lage, komplizierte nichtlineare Funktionen über einen Lernalgorithmus, der durch iterative oder rekursive Vorgehensweise aus vorhandenen Eingangs- und gewünschten Ausgangswerten alle Parameter der Funktion zu bestimmen versucht, zu erlernen.

[04] Die verwendeten Netze sind massiv parallele Strukturen zur Modellierung beliebiger funktionaler Zusammenhänge. Hierzu werden ihnen Trainingsdaten angeboten, die die zu modellierenden Zusammenhänge anhand von Beispielen repräsentieren. Während des Trainings werden die inneren Parameter der neuronalen Netze, wie beispielsweise ihre synaptischen Gewichte, durch Trainingsprozesse so angepasst, dass der gewünschte Response auf die Eingangsdaten erzeugt wird. Dieses Training wird supervised learning genannt.

[05] Bisherige Trainingsprozesse laufen so ab, dass in Epochen, das sind Zyklen, in denen dem Netz die Daten angeboten werden, der Response-Fehler am Ausgang des Netzes iterativ verringert wird.

[06] Dazu werden die Fehler der Ausgangsneuronen rückwärts in das Netz propagiert (backpropagation). Mithilfe verschiedener Prozesse (Gradientenabstieg, heuristische

Verfahren wie z.B. particle swarm optimization oder Evolutionsverfahren) werden dann die synaptischen Gewichte aller Neuronen des Netzes so verändert, dass das neuronale Netz die gewünschte Funktionalität beliebig genau approximiert.

[07] Bisheriges Trainingsparadigma ist also:

- 5 a) Propagiere Ausgabefehler zurück ins gesamte Netz.
- b) Handle alle Neuronen gleich.
- c) Adaptiere alle Gewichte mit derselben Strategie.

[08] In künstlichen neuronalen Netzen bezeichnet die Topologie die Struktur des Netzes. Dabei können Neuronen in hintereinander liegenden Schichten angeordnet werden.

- 10 Man spricht zum Beispiel bei einem Netz mit einer einzigen trainierbaren Neuronenschicht von einem einschichtigen Netz. Die hinterste Schicht des Netzes, deren Neuronenausgaben meist als einzige außerhalb des Netzes sichtbar sind, wird Ausgabeschicht genannt. Davor liegende Schichten werden dementsprechend als verdeckte Schichten bezeichnet. Das erfindungsgemäße Verfahren ist für homogene und inhomogene Netze
15 geeignet, die mindestens eine Schicht mit Zubringerneuronen und eine Ausgabeschicht mit Ausgabeneuronen aufweisen.

- [09] Die beschriebenen Lernverfahren dienen dazu, ein neuronales Netz dazu zu bringen, für bestimmte Eingangsmuster zugehörige Ausgabemuster zu erzeugen. Hierzu wird das Netz trainiert oder adaptiert. Das Trainieren von künstlichen neuronalen Netzen, das heißt das Schätzen der im Modell enthaltenen Parameter, führt in der Regel zu hoch dimensionalen, nicht linearen Optimierungsproblemen. Die prinzipielle Schwierigkeit bei der Lösung dieser Probleme besteht in der Praxis häufig darin, dass man nicht sicher sein kann, ob man das globale Optimum gefunden hat oder nur ein lokales. Eine Annäherung an die globale Lösung benötigt in der Regel eine zeitaufwendige vielfache
- 20

Wiederholung der Optimierung mit immer neuen Startwerten und den vorgegebenen Eingangs- und Ausgabewerten.

[10] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes derart weiterzuentwickeln, dass zu vorgegebenen Eingangs-
5 gangswerten in möglichst kurzer Zeit Responsewerte mit minimaler Abweichung zu den gewünschten Ausgabewerten bereitgestellt werden.

[11] Diese Aufgabe wird mit einem gattungsgemäßen Verfahren gelöst, bei dem die Ausgabeneuronen anders adaptiert werden als die Zubringerneuronen.

[12] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Neuronen eines neuronalen Netzes nicht unbedingt gleich behandelt werden müssen. Eine unterschiedliche Behandlung ist sogar sinnvoll, da die Neuronen unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen haben. Mit Ausnahme der Neuronen, die Ergebnisse repräsentieren (Ausgabeneuronen) erzeugen die vorgelagerten Neuronen (Zubringerneuronen) mehrstufig lineare Verrechnungen der Eingangswerte und der Zwischenwerte anderer Neuronen.

[13] Aufgabe der Zubringerneuronen ist es, eine geeignete interne Repräsentation der zu lernenden Funktionalität in einem hochdimensionalen Raum zu erzeugen. Aufgabe der Ausgabeneuronen ist es, das Angebot der Zubringerneuronen zu untersuchen und die am besten geeignete Auswahl an nichtlinearen Verrechnungsergebnissen zu bestimmen.

[14] Daher können diese beiden Neuronenklassen unterschiedlich adaptiert werden und es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass dadurch die Zeit, die für das Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes benötigt wird, deutlich verringert werden kann.

[15] Das Verfahren beruht auf einer Neuinterpretation der Wirkungsweise von feed forward Netzen und ihm liegen im Wesentlichen zwei Verfahrensschritte zugrunde:

- a) Erzeuge geeignete interne Repräsentationen der zu trainierenden Funktionalität.
- b) Wähle eine optimale Auswahl aus dem Angebot vorverrechneter Outputs der Zubringerneuronen.

5 [16] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden somit für eine zu trainierende Funktionalität und ein vorgegebenes Netz Eingangswerte vorgegeben und zuerst werden nur die Ausgabeneuronen so adaptiert, dass der Ausgabefehler minimiert wird.

[17] Sofern danach der verbleibende Ausgabefehler nicht bereits unterhalb einer Vorgabe liegt, wird nach dem Adaptieren der Ausgabeneuronen der verbleibende Ausgabefehler durch ein Adaptieren der Zubringerneuronen weiter verringert.

10

[18] Theoretisch kann ein Netz durch folgende Methoden lernen: Entwicklung neuer Verbindungen, Löschen bestehender Verbindungen, Ändern der Gewichtung, Anpassen der Schwellenwerte der Neuronen, Hinzufügen oder Löschen von Neuronen. Außerdem verändert sich das Lernverhalten bei Veränderung der Aktivierungsfunktion der Neuronen oder der Lernrate des Netzes.

15

[19] Da ein künstliches neuronales Netz hauptsächlich durch Modifikation der Gewichte der Neuronen lernt, wird vorgeschlagen, dass zum Adaptieren der Ausgabeneuronen die synaptischen Gewichte der Ausgabeneuronen bestimmt werden. Entsprechend werden auch zum Adaptieren der Zubringerneuronen vorzugsweise die synaptischen Gewichte der Zubringerneuronen bestimmt.

20

[20] Dabei ist vorgesehen, dass die synaptischen Gewichte der Ausgabeneuronen auf der Basis der Werte derjenigen Zubringerneuronen, die direkt mit den Ausgabeneuronen verbunden sind, und der vorgegebenen Ausgabewerte bestimmt werden.

[21] Ein vorteilhaftes Verfahren sieht vor, dass die Ausgabeneuronen mit weniger als fünf Adaptionsschritten, vorzugsweise nur einem Schritt adaptiert werden. Ebenso ist es vorteilhaft, wenn die Zubringerneuronen in weniger als fünf Adaptionsschritten und vorzugsweise nur einem Schritt adaptiert werden.

5 [22] Für den Fall, dass durch eine Adaption der Ausgabeneuronen und eine anschließende Adaption der Zubringerneuronen der Fehler noch nicht unter das gewünschte Maß gesenkt werden kann, wird vorgeschlagen, dass nach dem Adaptieren der Zubringerneuronen bei Überschreiten eines vorgegebenen Ausgabefelders mit den adaptierten Zubringerneuronen erneut die Ausgabeneuronen adaptiert werden.

10 [23] Bei der Adaption bzw. dem Training ist es vorteilhaft, wenn vorgegebene Ausgangswerte mit den inversen Transferfunktionen zurückgerechnet werden.

[24] Die Ausgabeneuronen können dabei vorzugsweise mit tichonov-regularisierter Regression adaptiert werden. Die Zubringerneuronen können vorzugsweise durch inkrementelles backpropagation adaptiert werden.

15 [25] Mit dem Verfahren wird eine bessere Fehlerpropagation an die vorgelagerten Neuronen und dadurch eine wesentliche Beschleunigung des Adaptionsprozesses ihrer synaptischen Gewichte erreicht. Die Zubringerneuronen erhalten damit ein wesentlich spezifischeres Signal bezüglich ihres eigenen Beitrags zum Ausgabefeldler als über ein noch suboptimal eingestelltes Nachfolgenetz bei der bisherigen Trainingsmethodik, bei
20 der die am weitesten entfernt von den Ausgabeneuronen angeordneten vorgelagerten Neuronen immer geringere Fehlerzuweisungen erhalten und daher nur sehr langsam ihre Gewichte ändern können.

[26] Es wird ein sehr schneller einfacher Prozessschritt zur optimalen Bestimmung aller Gewichte der Ausgabeneuronen vorgestellt, da dazu nur eine symmetrische positiv
25 definite Matrix invertiert werden muss, wofür sehr leistungsfähige Verfahren bekannt

sind (Cholesky-Faktorisierung, LU-Dekomposition, Singulärwert-Dekomposition, konjugierte Gradienten etc.).

[27] Die Anzahl der mit Gradientenabstiegsverfahren trainierten Neuronen des Netzes wird um die Anzahl der Ausgabeneuronen verringert, sodass mit wesentlich größeren
5 Netzen gearbeitet werden kann, die eine größere Approximationsfähigkeit aufweisen, wobei die Gefahr eines Overfittings (Auswendiglernens) durch Tichonov-Regularisierung ausgeschaltet wird.

[28] Durch die optimale Auswahl des Angebots der optimierten Zubringerneuronen ergibt sich, dass schon nach einer geringen Anzahl von Trainingsepochen das neuronale
10 Netz austrainiert ist. Dadurch sind Berechnungszeitverkürzungen um mehrere Zehnerpotenzen besonders bei komplexen neuronalen Netzen erreichbar.

[29] Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung einer Anlage, bei dem das zukünftige Verhalten beobachtbarer Größen die Grundlage für die Steuerungsfunktion bildet und künstliches neuronales Netzwerk wie oben beschrieben trainiert
15 wird.

[30] Ein Computerprogrammprodukt mit Computerprogrammcodemitteln zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens ermöglicht es, das Verfahren als Programm auf einem Computer auszuführen.

[31] Ein derartiges Computerprogrammprodukt kann auch auf einem computerlesbaren Datenspeicher gespeichert sein.
20

[32] Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der Figuren 1 und 2 näher beschrieben.

[33] Es zeigt:

Figur 1 ein stark abstrahiertes Schema eines künstlichen neuronalen Netzes mit mehreren Ebenen und feed forward Eigenschaft und

Figur 2 ein Schema eines künstlichen Neurons.

[34] Das in Figur 1 gezeigte künstliche neuronale Netz (1) besteht aus 5 Neuronen (2, 3, 4, 5 und 6), von denen die Neuronen (2, 3, 4) als verdeckte Schicht angeordnet sind und Zubringerneuronen darstellen, während die Neuronen (5, 6) als Ausgabeschicht Ausgabeneuronen darstellen. Die Eingangswerte (7, 8, 9) sind den Zubringerneuronen (2, 3, 4) zugeordnet und den Ausgabeneuronen (5, 6) sind Ausgangswerte (10, 11) zugeordnet. Die Differenz zwischen dem Response (12) des Ausgabeneurons (5) und dem Ausgangswert (10) wird ebenso wie die Differenz zwischen dem Response (13) des Ausgabeneurons (6) und dem Ausgangswert (11) als Ausgabefehler bezeichnet.

[35] Das in Figur 2 gezeigte Schema eines künstlichen Neurons zeigt, wie Eingaben (14, 15, 16, 17) zu einem Response (18) führen. Dabei werden die Eingaben ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) über Gewichtungen (19) bewertet und eine entsprechende Übertragungsfunktion (20) führt zu einer Netzeingabe (21). Eine Aktivierungsfunktion (22) mit einem Schwellenwert (23) führt zu einer Aktivierung und damit zu einem Response (18).

[36] Da die Gewichtung (19) den stärksten Einfluss auf den Response (18) der Neuronen (2 bis 6) hat, wird im Folgenden der Trainingsprozess ausschließlich im Hinblick auf eine Adaption der Gewichte des Netzes (1) beschrieben.

[37] Im Ausführungsbeispiel werden in einem ersten Schritt des Trainingsprozesses alle Gewichte (19) des Netzes (1) mit Zufallswerten im Intervall $[-1, 1]$ initialisiert. Danach wird in einer Epoche für jeden Trainingsdatensatz der Response (12, 13, 24, 25, 26, 27, 28, 29) jedes Neurons (2 bis 6) berechnet.

[38] Die gewünschten vorgegebenen Ausgangswerte (10, 11) aller Ausgabeneuronen (5, 6) werden mit Hilfe der inversen Transferfunktion des jeweiligen Ausgabeneurons

(5, 6) zurückgerechnet auf die gewichtete Summe des Response (24 bis 29) der Zubringerneuronen.

[39] Die synaptischen Gewichte aller Ausgabe-Neuronen werden durch einen tichonov-regularisierten Regressionsprozess zwischen invertierten vorgegebenen Ausgabe-
5 werten (10, 11) und denjenigen Vorverrechnungswerten der Zubringerneuronen (2, 3, 4) bestimmt, die direkt mit den Ausgabeneuronen (5, 6) verbunden sind.

[40] Der sich nun nach Neuberechnung ergebende Ausgabefehler als Differenz zwischen Response (12, 13) und Ausgabewert (10, 11) wird über die in diesem Prozessschritt nicht mehr adaptierten synaptischen Gewichte der Ausgabeneuronen (5, 6) an die
10 Zubringerneuronen (2, 3, 4) zurückpropagiert.

[41] Dann werden die synaptischen Gewichte (19) aller Zubringerneuronen (2, 3, 4) mit Hilfe von Gradientenabstieg, heuristischen Verfahren oder anderen inkrementellen Verfahren in nur einem bzw. wenigen Trainingsschritten modifiziert.

[42] Ist das gewünschte Approximationsziel erreicht, ist also der Ausgabefehler kleiner als eine gesetzte Obergrenze, endet das Verfahren hier.
15

[43] Ansonsten beginnt die nächste Trainingsepoche, indem erneut für jeden Trainingsdatensatz der Output jedes Neurons berechnet wird.

[44] Dies ermöglicht es beispielsweise als Eingangswerte (7, 8, 9) historische Wetterdaten wie Sonnenintensität, Windgeschwindigkeit und Niederschlagsmenge einzugeben, während als Ausgangswert der Stromverbrauch zu bestimmten Tageszeiten angesetzt
20 wird. Durch ein entsprechendes Trainieren des Netzes (1) wird der Response (12, 13) so optimiert, dass der Ausgabefehler immer geringer wird. Danach kann das Netz für Prognosen verwendet werden, indem prognostizierte Wetterdaten eingegeben werden und mit dem künstlichen neuronalen Netz (1) zu erwartende Stromverbrauchswerte ermittelt
25 werden.

[45] Während für derartige Berechnungen mit einem herkömmlichen Trainingsprozess im praktischen Einsatz viele Stunden zum Trainieren des neuronalen Netzwerkes notwendig waren, erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren ein Trainieren innerhalb weniger Sekunden oder Minuten.

5 [46] Das beschriebene Verfahren ermöglicht somit eine starke Reduktion der benötigten Zeit bei einem vorgegebenen künstlichen neuronalen Netz. Darüber hinaus kann auch das benötigte Netz verkleinert werden, ohne dass dadurch die Qualität der Ergebnisse leidet. Dies eröffnet die Verwendung künstlicher neuronaler Netze in kleineren Computern wie insbesondere auch Smartphones.

10 [47] Smartphones können somit während ihrer Verwendung kontinuierlich trainiert werden, um nach einer Trainingsphase dem Nutzer von sich aus Informationen zur Verfügung zu stellen, die er regelmäßig abrufen. Wenn der Nutzer beispielsweise täglich über eine Applikation sich spezielle Börsendaten anzeigen lässt, können diese Börsendaten dem Nutzer bei einer beliebigen Verwendung des Smartphones automatisch angezeigt
15 werden, ohne dass der Nutzer zunächst die Applikation aktiviert und seine Daten abrufen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes (1), das mindestens eine Schicht mit Zubringerneuronen (2, 3, 4) und eine Ausgabeschicht mit Ausgabeneuronen (5, 6) aufweist, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Ausgabeneuronen (5, 6) anders adaptiert werden als die Zubringerneuronen (2, 3, 4).
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** für eine zu trainierende Funktionalität und ein vorgegebenes Netz (1) Eingangswerte (7, 8, 9) und Ausgangswerte (10, 11) vorgegeben werden und zuerst nur die Ausgabeneuronen (5, 6) so adaptiert werden, dass der Ausgabefehler minimiert wird.
- 10 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** nach einem Adaptieren der Ausgabeneuronen (5, 6) der verbleibende Ausgabefehler durch ein Adaptieren der Zubringerneuronen (2, 3, 4) verringert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** zum Adaptieren der Ausgabeneuronen (5, 6) die synaptischen Gewichte der
15 Ausgabeneuronen (5, 6) bestimmt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die synaptischen Gewichte der Ausgabeneuronen (5, 6) auf der Basis der Werte derjenigen Zubringerneuronen (2, 3, 4), die direkt mit den Ausgabeneuronen (5, 6) verbunden sind, und der vorgegebenen Ausgabewerte (10, 11) bestimmt werden.
- 20 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Ausgabeneuronen (5, 6) mit weniger als fünf Adaptionsschritten und vorzugsweise nur einem Schritt adaptiert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* zum Adaptieren der Zubringerneuronen (2, 3, 4) die synaptischen Gewichte der Zubringerneuronen (2, 3, 4) bestimmt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* die Zubringerneuronen (2, 3, 4) in weniger als fünf Adaptionsschritten und vorzugsweise nur einem Schritt adaptiert werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* nach dem Adaptieren der Zubringerneuronen bei Überschreiten eines vorgegebenen Ausgabefelders mit den adaptierten Zubringerneuronen (2, 3, 4) erneut die Ausgabeneuronen (5, 6) adaptiert werden.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* vorgegebene Ausgangswerte (10, 11) mit den inversen Transferfunktionen zurückgerechnet werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* die Ausgabeneuronen (5, 6) mit tichonov-regularisierter Regression adaptiert werden.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, dass* die Zubringerneuronen (2, 3, 4) durch inkrementelles backpropagation adaptiert werden.
13. Verfahren zur Steuerung einer Anlage, bei dem das zukünftige Verhalten beobachtbarer Größen die Grundlage für die Steuerungsfunktion bildet und ein künstliches neuronales Netzwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche trainiert wird.

14. Computerprogrammprodukt mit Programmcodemitteln zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird.
15. Computerprogrammprodukt mit Programmcodemitteln nach Anspruch 14, die
5 auf einem computerlesbaren Datenspeicher gespeichert sind.

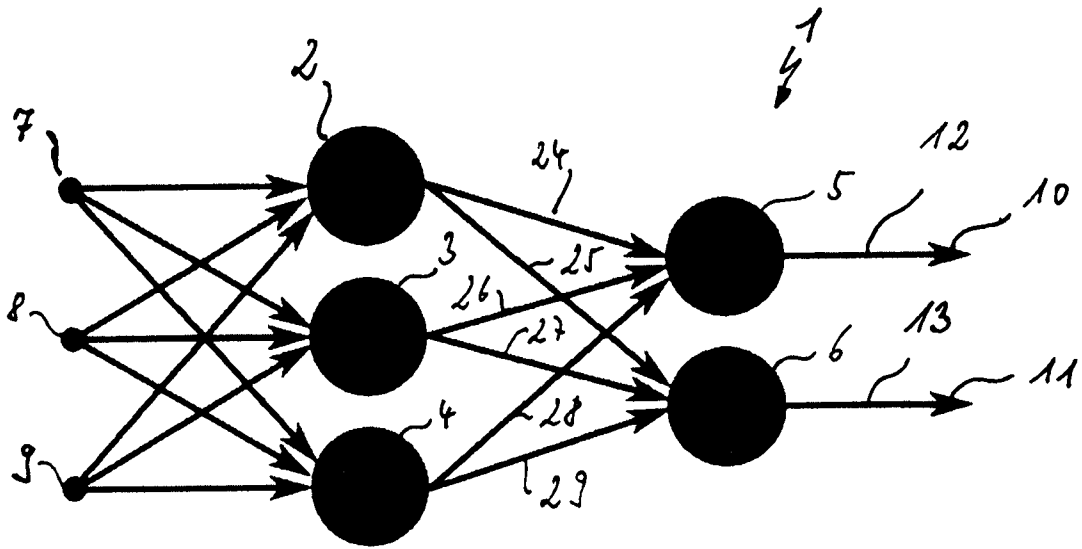


Fig. 1

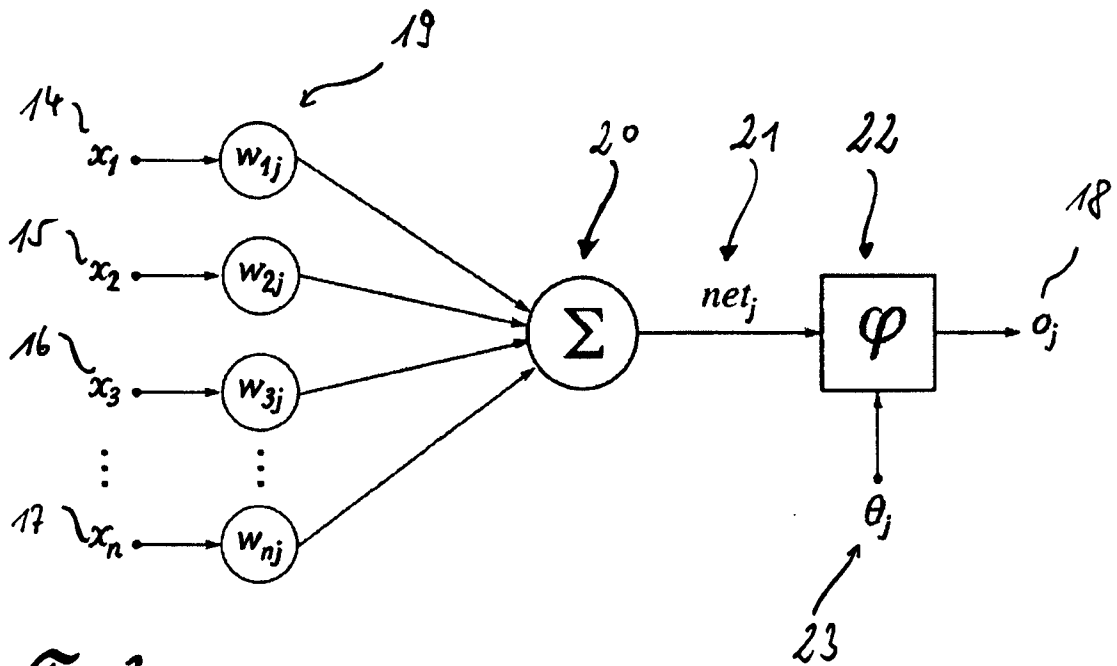


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2013/000197

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06N3/08
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06N
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GUANG-BIN HUANG ET AL: "Extreme learning machines: a survey", INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS, vol. 2, no. 2, 25 May 2011 (2011-05-25), pages 107-122, XP055083871, ISSN: 1868-8071, DOI: 10.1007/s13042-011-0019-y	1-10, 13-15
Y	page 107 - page 119, left-hand column ----- -/--	11,12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 16 October 2013	Date of mailing of the international search report 25/10/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Volkmer, Markus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2013/000197

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	XIANGXIN KONG ET AL: "Extreme learning machine based phase angle control for stator-doubly-fed doubly salient motor for electric vehicles", VEHICLE POWER AND PROPULSION CONFERENCE, 2008. VPPC '08. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 September 2008 (2008-09-03), pages 1-5, XP031363190, DOI: 10.1109/VPPC.2008.4677510 ISBN: 978-1-4244-1848-0	1-10, 13-15
A	page 1 - page 5, left-hand column -----	11,12
X	VIRENDRA P. VISHWAKARMA ET AL: "A New Learning Algorithm for Single hidden Layer Feedforward Neural Networks", INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS, vol. 28, no. 6, 31 August 2011 (2011-08-31), pages 26-33, XP055083860, ISSN: 0975-8887, DOI: 10.5120/3390-4706	1-10, 13-15
A	page 26 - page 32, right-hand column, paragraph 2 -----	11,12
Y	BURGER M ET AL: "Analysis of Tikhonov regularization for function approximation by neural networks", NEURAL NETWORKS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, vol. 16, no. 1, 1 January 2003 (2003-01-01), pages 79-90, XP004405405, ISSN: 0893-6080, DOI: 10.1016/S0893-6080(02)00167-3	11
A	the whole document -----	1-10, 12-15
Y	LIMIN FU ET AL: "Incremental Backpropagation Learning Networks", IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 7, no. 3, 1 May 1996 (1996-05-01), XP011039826, ISSN: 1045-9227	12
A	the whole document -----	1-11, 13-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2013/000197

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G06N3/08
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G06N
 Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GUANG-BIN HUANG ET AL: "Extreme learning machines: a survey", INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS, Bd. 2, Nr. 2, 25. Mai 2011 (2011-05-25), Seiten 107-122, XP055083871, ISSN: 1868-8071, DOI: 10.1007/s13042-011-0019-y	1-10, 13-15
Y	Seite 107 - Seite 119, linke Spalte ----- -/--	11,12

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
16. Oktober 2013	25/10/2013
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Volkmer, Markus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	XIANGXIN KONG ET AL: "Extreme learning machine based phase angle control for stator-doubly-fed doubly salient motor for electric vehicles", VEHICLE POWER AND PROPULSION CONFERENCE, 2008. VPPC '08. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3. September 2008 (2008-09-03), Seiten 1-5, XP031363190, DOI: 10.1109/VPPC.2008.4677510 ISBN: 978-1-4244-1848-0	1-10, 13-15
A	Seite 1 - Seite 5, linke Spalte -----	11,12
X	VIRENDRA P. VISHWAKARMA ET AL: "A New Learning Algorithm for Single hidden Layer Feedforward Neural Networks", INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS, Bd. 28, Nr. 6, 31. August 2011 (2011-08-31), Seiten 26-33, XP055083860, ISSN: 0975-8887, DOI: 10.5120/3390-4706	1-10, 13-15
A	Seite 26 - Seite 32, rechte Spalte, Absatz 2 -----	11,12
Y	BURGER M ET AL: "Analysis of Tikhonov regularization for function approximation by neural networks", NEURAL NETWORKS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, Bd. 16, Nr. 1, 1. Januar 2003 (2003-01-01), Seiten 79-90, XP004405405, ISSN: 0893-6080, DOI: 10.1016/S0893-6080(02)00167-3	11
A	das ganze Dokument -----	1-10, 12-15
Y	LIMIN FU ET AL: "Incremental Backpropagation Learning Networks", IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 7, Nr. 3, 1. Mai 1996 (1996-05-01), XP011039826, ISSN: 1045-9227	12
A	das ganze Dokument -----	1-11, 13-15