

19



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU507983

12

BREVET D'INVENTION

B1

21

N° de dépôt: LU507983

51

Int. Cl.:

F03D 1/00, G05B 1/00, G01P 1/00

22

Date de dépôt: 12/08/2024

30

Priorité:

22/07/2024 CN 202410984092.5

72

Inventeur(s):

LV Fuyuan – China, ZHAO Fengwei – China, SHI Xiang – China, LI Yajun – China, JI Kai – China, WANG Zhirong – China, ZHAI Yongguo – China, LV Pei – China, LI Zhinan – China, ZHENG Yongkui – China

43

Date de mise à disposition du public: 13/02/2025

47

Date de délivrance: 13/02/2025

73

Titulaire(s):

HUANENG ALXA LEAGUE NEW ENERGY POWER
GENERATION CO., LTD. – Alxa League (China)

74

Mandataire(s):

IP SHIELD – 1616 Luxembourg (Luxemburg)

54

EIN GIERSTEUERUNGSSYSTEM UND EIN VERFAHREN ZUR ANWENDUNG DER LASER-WINDMESSRADAR-OPTIMIERUNG.

57

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Windturbinen- Giersteuerungstechnologie und insbesondere auf ein Giersteuerungssystem und ein Verfahren zur Anwendung der Laser-Windmessradar-Optimierung, umfassend: Sammeln von Windturbinen-Umgebungsdaten auf der Grundlage des Laser-Windmessradars und gleichzeitiges Erfassen von historischen Windturbinen-Umgebungsdaten; Datenvorverarbeitung wird an den Windturbinen-Umgebungsdaten und den historischen Windturbinen-Umgebungsdaten durchgeführt, und die vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten werden in einen Trainingssatz und einen Testsatz unterteilt; Eingabe des Trainingssatzes in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell zum Trainieren, und Berechnung des Verlustwertes zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis durch die Verlustfunktion, iterative Aktualisierung der Parameter des WEA-Gierregelungsmodells und Vervollständigung des Trainings des WEA- Gierregelungsmodells; Auf der Grundlage des trainierten WEA-Gierregelungsmodells werden die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten gelöst, um den optimalen Gierwinkel der WEA zu erhalten, und das Giersystem der WEA wird angetrieben, um die Einstellung abzuschließen.

Auf der Grundlage des Laser-Windradars werden die Umweltdaten der Windenergieanlage gesammelt und gleichzeitig die historischen Umweltdaten der Windenergieanlage erfasst.

Die Datenvorverarbeitung wird an den WEA-Umgebungsdaten und den historischen WEA-Umgebungsdaten durchgeführt, und die vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten werden in einen Trainingssatz und einen Testsatz unterteilt.

Die Trainingsmenge wird in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell zum Training eingegeben, und die Verlustfunktion berechnet den Verlustwert zwischen der Testmenge und den Trainingsergebnissen, aktualisiert iterativ die Parameter des WEA-Gierregelungsmodells und vervollständigt das Training des WEA-Gierregelungsmodells.

Basierend auf dem trainierten Modell der WEA-Giersteuerung werden die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten gelöst, um den optimalen Gierwinkel der WEA zu erhalten, und das Giersystem der WEA wird angehoben, um die Anpassung abzuschließen.

Bild 1

Ein Giersteuerungssystem und ein Verfahren zur Anwendung der Laser-Windmessradar-Optimierung LU507983

Technischer Bereich

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das technische Gebiet der Giersteuerung von Windkraftanlagen, insbesondere auf ein Giersteuerungssystem und ein Verfahren zur Anwendung der Laser-Windmessradar-Optimierung.

Technologie im Hintergrund

Die Windenergie als saubere und erneuerbare Energiequelle erfährt weltweit immer mehr Aufmerksamkeit. Das Giersystem von Windturbinen dient dazu, das Windrad der Turbine so auszurichten, dass es stets mit der Windrichtung übereinstimmt und so die Effizienz der Stromerzeugung maximiert wird. Aufgrund der dynamischen und unvorhersehbaren Natur des Windes ist eine genaue Vorhersage der Windrichtung und -geschwindigkeit bei diesem Prozess jedoch besonders wichtig. Derzeit ist der Gierfehler von Windturbinen ein häufiges Problem beim Betrieb von Windparks, das von der Industrie zwar schon lange erkannt, aber aus mehreren Gründen noch nicht ausreichend beachtet und gelöst wurde: Zum einen gibt es nur begrenzte Messmöglichkeiten: Der Aufstellungsort und das Funktionsprinzip des herkömmlichen Windgeschwindigkeits- und -Richtungsmessers erschweren die genaue Messung der Echtzeit-Windbedingungen der Windturbine, und sie werden leicht durch Faktoren wie Störungen des Turbinenhecks, Auswirkungen der Rotation der Windturbine auf die Luftströmung und mikroskopische Änderungen der Standortumgebung gestört, was zu einer Abweichung der gemessenen Windgeschwindigkeits- und -Richtungsdaten von den tatsächlichen Windbedingungen der Windturbine führt und eine genaue Quantifizierung des Gierfehlers erschwert; Andererseits die Eigenschaften der Giersteuerung: Das Giersteuerungssystem von Windturbinen arbeitet in der Regel auf der Grundlage voreingestellter Schwellenwerte oder periodischer Anpassungen, anstatt kontinuierlich auf subtile Änderungen der Windrichtung in Echtzeit zu reagieren, so dass der Gierfehler nicht vollständig durch eine einzige momentane Messung bestimmt werden kann. Auf dieser Grundlage entwerfen wir ein Giersteuerungssystem und ein Verfahren zur Anwendung der Laser-Windmessradar-Optimierung auf das oben genannte Problem.

Inhalt der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein Giersteuersystem und ein Verfahren zur Anwendung der Laser-Windmessradar-Optimierung bereitzustellen, das Echtzeit-Umgebungsdaten von Windturbinen durch die Einführung eines Laser-Windmessradars sammelt und das Giersteuermodell der Windturbine, das mit einem neuronalen Netzwerk ausgestattet ist, trainiert und vorhersagt, so dass das Gierstellgliedmodul Echtzeitanpassungen des optimalen Gierwinkels auf der Grundlage der genauen Vorhersage vornehmen kann. Dadurch wird nicht nur der Wirkungsgrad der Windenergieanlage erheblich verbessert, sondern auch die Wartungshäufigkeit und -kosten der Anlage reduziert.

Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden durch die folgenden technischen Lösungen erreicht:

Ein Gierregelungssystem, das eine Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung anwendet, umfassend:

Ein Datenerfassungsmodul, das auf einem Laser-Windmessradar basiert, um Umweltdaten der Windkraftanlage zu sammeln und gleichzeitig historische Umweltdaten der Windkraftanlage zu erhalten;

Ein Datenverarbeitungsmodul, das eine Datenvorverarbeitung der WEA-Umgebungsdaten LU507983 und der historischen WEA-Umgebungsdaten durchführt und die vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten in einen Trainingssatz und einen Testsatz unterteilt;

Ein neuronales Netzwerkmodell, das den Trainingssatz in das voreingestellte Windturbinen-
5 Giersteuerungsmodell zum Training eingibt und den Verlustwert zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis mittels einer Verlustfunktion berechnet, die Parameter des Windturbinen-Giersteuerungsmodells iterativ aktualisiert und das Training des Windturbinen-Giersteuerungsmodells abschließt;

Das Gierausführungsmodul löst auf der Grundlage des abgeschlossenen Trainings des WEA-
10 Gierregelungsmodells die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten, erhält den optimalen Gierwinkel der WEA und steuert das Giersystem der WEA, um die Einstellung abzuschließen.

Optional wird das Sammeln von Umgebungsdaten der Windturbine auf der Grundlage eines Laser-Windradars durchgeführt, insbesondere: Erhalten der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsdaten der Umgebung um die Windturbine durch das Laser-Windradar und
15 gleichzeitiges Erhalten des aktuellen Betriebszustands der Windturbine auf der Grundlage des voreingestellten Moduls in der Windturbine, wobei der aktuelle Betriebszustand der Windturbine Folgendes umfasst: den aktuellen Gierwinkel der Windturbine und die Energieerzeugung.

Optional ist die Datenvorverarbeitung der WEA-Umweltdaten und der historischen WEA-Umweltdaten wie folgt: Echtzeitverarbeitung der WEA-Umweltdaten; Rauschentfernung der
20 historischen WEA-Umgebungsdaten wird durch einen Algorithmus zur Filterung des gleitenden Durchschnitts durchgeführt, und die Verarbeitung fehlender Werte der historischen WEA-Umgebungsdaten wird durch lineare Interpolation durchgeführt, und die Datennormalisierung und Merkmalsextraktion werden der Reihe nach durchgeführt, um die Datenvorverarbeitung der WEA-Umgebungsdaten und der historischen WEA-Umgebungsdaten abzuschließen.

Optional wird die Rauschentfernung der historischen Umgebungsdaten der Windturbine durch einen Algorithmus zur Filterung des gleitenden Durchschnitts wie folgt berechnet:

$$x_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_{i-j}$$

Wobei x_i die historischen Umweltdaten der Windturbine zum i-ten Zeitpunkt, N eine Fenstergröße und j ein Zeitpunktsindex innerhalb des Fensters ist;

30 Die besagte Verarbeitung der fehlenden Werte der historischen Umweltdaten der WEA durch lineare Interpolation wird durch die spezifische Formel berechnet:

$$y = y_0 + \frac{(x - x_0) \cdot (y_1 - y_0)}{x_1 - x_0}$$

Wobei x_0 , y_0 , x_1 und y_1 , jeweils benachbarte gültige Datenpunkte sind, x eine Position ist, an der sich die fehlenden Daten befinden, und y ein Datenwert nach der Interpolation ist;

35 Die Datennormalisierung und die Merkmalsextraktion werden sequentiell durchgeführt, wobei die Datennormalisierung durch die Formel berechnet wird:

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Wobei x die historischen Umweltdaten der Windturbine sind, $x_{\min}$ und $x_{\max}$ die Minimal- bzw. Maximalwerte der Stichprobe sind und x' die normalisierten historischen Umweltdaten der Windturbine sind;

- 5 Die besagte Merkmalsextraktion, die insbesondere darin besteht, die Windgeschwindigkeits-Änderungsrate und die Windrichtungs-Änderungsrate in den historischen Umgebungsdaten der Windturbine zu extrahieren, die insbesondere durch die Formel berechnet wird:

$$\Delta v = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

- 10 wobei $v(t)$ die Windgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t , Δt das Zeitintervall und Δv die Änderungsrate der Windgeschwindigkeit ist;

$$\Delta \theta = \frac{\theta(t + \Delta t) - \theta(t)}{\Delta t}$$

wobei $\theta(t)$ die Windrichtung zum Zeitpunkt t ist und $\Delta \theta$ die Änderungsrate der Windrichtung ist.

- 15 Optional ist das Windturbinen-Giersteuerungsmodell, das speziell als ein LSTM-Modell konstruiert ist, wobei das LSTM-Modell eine Eingabeschicht, eine LSTM-Schicht, eine vollständig verbundene Schicht und eine Ausgabeschicht umfasst.

Wahlweise wird die LSTM-Schicht wie folgt berechnet:

$$h_t, c_t = \text{LSTM}(Z_t, h_{t-1}, c_{t-1})$$

$$i_t = \sigma(W_i[Z_t, h_{t-1}] + b_i)$$

$$f_t = \sigma(W_f[Z_t, h_{t-1}] + b_f)$$

$$o_t = \sigma(W_o[Z_t, h_{t-1}] + b_o)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c[Z_t, h_{t-1}] + b_c)$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t)$$

wobei h_t der verborgene Zustand zum Zeitpunkt t , c_t der Einheitszustand zum

Zeitpunkt t , Z_t die Eingangsdaten zum Zeitpunkt t , i_t das Eingangsgatter zum Zeitpunkt t , f_t das Vergessensgatter zum Zeitpunkt t , o_t das Ausgangsgatter zum Zeitpunkt t , $\tilde{c}_t$ die Kandidaten-Speicherzelle zum Zeitpunkt t , W_* die Gewichtsmatrix jedes Gatters, b_* der Vorspannungsterm jedes Gatters und σ die Sigmoid-Aktivierungsfunktion ist.

Optional kann die Verlustfunktion, die speziell als berechnet wird:

$$L(\Theta) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\hat{\theta}^{(i)} - \theta^{(i)})^2}$$

Dabei ist Θ der Parameter des Windturbinen-Gierregelungsmodells, M die Anzahl der Stichproben, $\hat{\theta}^{(i)}$ der vorhergesagte Wert der i -ten Stichprobe und $\theta^{(i)}$ der wahre Wert der i -ten Stichprobe.

Ein Giersteuerungsverfahren zur Anwendung einer Laser-Windmessradar-Optimierung, wobei die Schritte des Verfahrens umfassen:

Sammeln von WTG-Umgebungsdaten auf der basierend auf dem Laser-Windmessradar, und gleichzeitiges Erfassen von historischen WTG-Umgebungsdaten;

Durchführen einer Datenvorverarbeitung an den WEA-Umgebungsdaten und den historischen WEA-Umgebungsdaten und Aufteilen der vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten in einen Trainingssatz und einen Testsatz;

Eingeben des Trainingssatzes in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell zum Trainieren, und Berechnen des Verlustwertes zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis durch die Verlustfunktion, iteratives Aktualisieren der Parameter des WEA-Gierregelungsmodells und Abschließen des Trainings des WEA-Gierregelungsmodells;

Auf der Grundlage des fertig trainierten Modells der WEA-Giersteuerung, das die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten löst, wird der optimale Gierwinkel der WEA ermittelt, und das Giersystem der WEA wird so gesteuert, dass die Einstellung abgeschlossen wird.

Die technische Lösung der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat zumindest die folgenden Vorteile und vorteilhaften Auswirkungen:

Die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sammelt WEA-Umgebungsdaten in Echtzeit durch die Einführung eines Laser-Windmessradars und trainiert und prognostiziert das WEA-Giersteuermodell, das mit einem neuronalen Netzwerk ausgestattet ist, so dass das Gieraktormodul eine Echtzeitanpassung des optimalen Gierwinkels auf der Grundlage der genauen Vorhersage vornehmen kann, was nicht nur die Stromerzeugungseffizienz der WEA verbessert, sondern auch die Häufigkeit der Wartung der Ausrüstung und die Kosten reduziert.

Beschreibung der beigefügten Zeichnungen

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung des Prinzips eines Giersteuerungssystems, das durch den Einsatz eines Laser-Windmessradars optimiert wurde, wie es in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist.

Detaillierte Beschreibung

Um die Gegenstände, technischen Lösungen und Vorteile der Ausführungsformen der

vorliegenden Erfindung deutlicher zu machen, werden die technischen Lösungen in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Folgenden in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung klar und vollständig beschrieben, und es ist klar, dass die beschriebenen Ausführungsformen ein Teil der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und nicht alle Ausführungsformen sind. Die Komponenten der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Allgemeinen beschrieben und in den begleitenden Zeichnungen hierin dargestellt kann in einer Vielzahl von verschiedenen Konfigurationen angeordnet und gestaltet werden.

Wie in Bild 1 gezeigt, stellt die vorliegende Erfindung eine der folgenden Ausführungsformen zur Verfügung: ein Giersteuerungssystem, das eine Laser-Windmessradar-Optimierung anwendet, umfassend:

Ein Datenerfassungsmodul, das Windturbinen-Umgebungsdaten basierend auf dem Laser-Windmessradar sammelt und gleichzeitig historische Windturbinen-Umgebungsdaten erfasst;

Ein Datenverarbeitungsmodul, das eine Datenvorverarbeitung der Windturbinen-Umgebungsdaten und der historischen Windturbinen-Umgebungsdaten durchführt und die vorverarbeiteten historischen Windturbinen-Umgebungsdaten in einen Trainingssatz und einen Testsatz unterteilt;

Ein neuronales Netzwerkmodell, das den Trainingssatz in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell zum Training eingibt und den Verlustwert zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis mittels einer Verlustfunktion berechnet, die Parameter des WEA-Gierregelungsmodells iterativ aktualisiert und das Training des WEA-Gierregelungsmodells abschließt;

Das Modul zur Ausführung der Giersteuerung löst auf der Grundlage des abgeschlossenen Trainings des Giersteuerungsmodells der Windturbine die vorverarbeiteten Umgebungsdaten der Windturbine, ermittelt den optimalen Gierwinkel der Windturbine und steuert das Giersystem der Windturbine, um die Einstellung abzuschließen.

Bei dieser Ausführungsform wird das Laser-Windmessradar in der Regel in der Gondel auf der Oberseite der Windturbine installiert, parallel zur Hauptachse der Windturbine, und schießt zwei Laserstrahlen in einem Winkel von 30 Grad nach links und rechts nach vorne. Unter Ausnutzung des Dopplereffekts, d.h. der Frequenzänderung der Laserstrahlen, wenn sie nach der Bestrahlung von Aerosolpartikeln in der Luft zum Radar zurückreflektiert werden, können die Windgeschwindigkeit und die relative Windrichtung in einem Abstand von 70 Metern vor dem Laserradar genau berechnet werden. Da die Messposition weit von der Windturbine entfernt ist, können die gemessenen Daten die Informationen über die Windgeschwindigkeit und -richtung im freien Strom darstellen, die nicht durch die Windturbine selbst gestört werden, was für die anschließende Optimierung der Giersteuerungsstrategie und die Verbesserung der Effizienz der Windenergiegewinnung entscheidend ist. Darüber hinaus ist die in das LiDAR-Gerät integrierte intelligente Software in der Lage, die Daten zu verarbeiten und ungültige oder falsche Daten aufgrund von Blatthindernissen usw. automatisch zu eliminieren, um sicherzustellen, dass das Steuerungssystem mit echten und effektiven Informationen über die Windverhältnisse versorgt wird.

In dieser Ausführungsform umfasst das Sammeln von Umgebungsdaten der Windturbine auf der Grundlage des Laser-Windmessradars insbesondere: das Erhalten der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsdaten der Umgebung der Windturbine durch das Laser-Windmessradar und gleichzeitig das Erhalten des aktuellen Betriebszustands der Windturbine auf der Grundlage des

voreingestellten Moduls in der Windturbine, wobei der aktuelle Betriebszustand der Windturbine Folgendes umfasst: den aktuellen Gierwinkel der Windturbine und die Energieerzeugungsleistung der Windturbine.

- 5 Ferner wird die Datenvorverarbeitung der Umweltdaten der WEA und der historischen Umweltdaten der WEA spezifiziert als: Echtzeitverarbeitung der Umweltdaten der WEA; Der Algorithmus zur Filterung des gleitenden Mittelwerts entfernt Rauschen aus den historischen Umweltdaten der Windturbine, und die Verarbeitung fehlender Werte wird an den historischen Umweltdaten der Windturbine durch lineare Interpolation durchgeführt, und die Datennormalisierung und Merkmalsextraktion werden nacheinander durchgeführt, um die
- 10 Datenvorverarbeitung der Umweltdaten der Windturbine und der historischen Umweltdaten der Windturbine zu vervollständigen.

Konkret wird die Rauschunterdrückung historischer Umweltdaten von Windkraftanlagen mittels eines Algorithmus zur Filterung des gleitenden Durchschnitts wie folgt berechnet:

$$x_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_{i-j}$$

- 15 Wobei x_i die historischen Umweltdaten der Windturbine zum i-ten Zeitpunkt, N eine Fenstergröße und j ein Zeitpunktsindex innerhalb des Fensters ist;

Die besagte Verarbeitung der fehlenden Werte der historischen Umweltdaten der WEA durch lineare Interpolation wird durch die spezifische Formel berechnet:

$$y = y_0 + \frac{(x - x_0) \cdot (y_1 - y_0)}{x_1 - x_0}$$

- 20 Wobei x_0, y_0, x_1 und y_1 , jeweils benachbarte gültige Datenpunkte sind, x eine Position ist, an der sich die fehlenden Daten befinden, und y ein Datenwert nach der Interpolation ist;

Die Datennormalisierung und die Merkmalsextraktion werden sequentiell durchgeführt, wobei die Datennormalisierung durch die Formel berechnet wird:

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

- 25 Wobei x die historischen Umweltdaten der Windturbine sind, $x_{\min}$ und $x_{\max}$ die Minimal- bzw. Maximalwerte der Stichprobe sind und x' die normalisierten historischen Umweltdaten der Windturbine sind;

- Die besagte Merkmalsextraktion, die insbesondere darin besteht, die Windgeschwindigkeits-Änderungsrate und die Windrichtungs-Änderungsrate in den historischen Umgebungsdaten der
- 30 Windturbine zu extrahieren, die insbesondere durch die Formel berechnet wird:

$$\Delta v = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

wobei $v(t)$ die Windgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t , Δt das Zeitintervall und Δv die Änderungsrate der Windgeschwindigkeit ist;

$$\Delta \theta = \frac{\theta(t + \Delta t) - \theta(t)}{\Delta t}$$

5 wobei $\theta(t)$ die Windrichtung zum Zeitpunkt t ist und $\Delta \theta$ die Änderungsrate der Windrichtung ist.

Optional ist das Windturbinen-Giersteuerungsmodell, das speziell als ein LSTM-Modell konstruiert ist, wobei das LSTM-Modell eine Eingabeschicht, eine LSTM-Schicht, eine vollständig verbundene Schicht und eine Ausgabeschicht umfasst.

10 Wahlweise wird die LSTM-Schicht wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} h_t, c_t &= \text{LSTM}(Z_t, h_{t-1}, c_{t-1}) \\ i_t &= \sigma(W_i[Z_t, h_{t-1}] + b_i) \\ f_t &= \sigma(W_f[Z_t, h_{t-1}] + b_f) \\ o_t &= \sigma(W_o[Z_t, h_{t-1}] + b_o) \\ \tilde{c}_t &= \tanh(W_c[Z_t, h_{t-1}] + b_c) \\ c_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t \\ h_t &= o_t \odot \tanh(c_t) \end{aligned}$$

wobei h_t der verborgene Zustand zum Zeitpunkt t , c_t der Einheitszustand zum Zeitpunkt t , Z_t die Eingangsdaten zum Zeitpunkt t , i_t das Eingangsgatter zum Zeitpunkt t , f_t das Vergessengatter zum Zeitpunkt t , o_t das Ausgangsgatter zum Zeitpunkt t , $\tilde{c}_t$ die Kandidaten-Speicherzelle zum Zeitpunkt t , W_* die Gewichtsmatrix jedes Gatters, b_* der Vorspannungsterm jedes Gatters und σ die Sigmoid-Aktivierungsfunktion ist.

In dieser Ausführungsform wird die Verlustfunktion, die speziell als berechnet wird:

$$L(\Theta) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\hat{\theta}^{(i)} - \theta^{(i)})^2}$$

Dabei ist Θ der Parameter des Windturbinen-Gierregelungsmodells, M die Anzahl der Stichproben, $\hat{\theta}^{(i)}$ der vorhergesagte Wert der i-ten Stichprobe und $\theta^{(i)}$ der wahre Wert der i-ten Stichprobe.

5 Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Giersteuerung, bei dem eine Laser-Windmessradar-Optimierung angewendet wird, wobei die Schritte des Verfahrens Folgendes umfassen

Sammeln von WEA-Umgebungsdaten basierend auf dem Laser-Windmessradar und gleichzeitiges Erfassen von historischen WEA-Umgebungsdaten;

10 Durchführen einer Datenvorverarbeitung an den WEA-Umgebungsdaten und den historischen WEA-Umgebungsdaten und Aufteilen der vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten in einen Trainingssatz und einen Testsatz;

15 Eingeben des Trainingssatzes in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell zum Trainieren, und Berechnen des Verlustwertes zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis durch die Verlustfunktion, iteratives Aktualisieren der Parameter des WEA-Gierregelungsmodells und Abschließen des Trainings des WEA-Gierregelungsmodells;

Auf der Grundlage des trainierten Modells für die Giersteuerung der WEA, das die vorverarbeiteten Umgebungsdaten der WEA löst, wird der optimale Gierwinkel der WEA ermittelt, und das Giersystem der WEA wird so gesteuert, dass die Einstellung abgeschlossen wird.

20 Die obigen Ausführungen stellen nur eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar und sollen die vorliegende Erfindung nicht einschränken, die für den Fachmann verschiedene Änderungen und Variationen zulässt. Alle Änderungen, gleichwertige Ersetzungen, Verbesserungen usw., die im Rahmen des Geistes und der Grundsätze der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden, fallen in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung.

1. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung, dadurch gekennzeichnet, dass es umfasst:

Ein Datenerfassungsmodul, das Windturbinen-Umgebungsdaten auf der Grundlage des Laser-Windmessradars sammelt und gleichzeitig historische Windturbinen-Umgebungsdaten erfasst;

Ein Datenverarbeitungsmodul, das eine Datenvorverarbeitung an den Windturbinen-Umgebungsdaten und den historischen Windturbinen-Umgebungsdaten durchführt und die vorverarbeiteten historischen Windturbinen-Umgebungsdaten in einen Trainingssatz und einen Testsatz aufteilt;

Ein neuronales Netzwerkmodell, das den Trainingssatz in das voreingestellte Windturbinen-Giersteuermodell zum Training eingibt und den Verlustwert zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis mittels einer Verlustfunktion berechnet, die Parameter des Windturbinen-Giersteuermodells iterativ aktualisiert und das Training des Windturbinen-Giersteuermodells abschließt;

Das Gierausführungsmodul löst auf der Grundlage des abgeschlossenen Trainings des WEA-Gierregelungsmodells die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten, erhält den optimalen Gierwinkel der WEA und steuert das Giersystem der WEA, um die Einstellung abzuschließen.

2. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Laser-Windmessradar auf der Erfassung von Umgebungsdaten der Windturbine basiert, insbesondere: Erfassen der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit der Umgebung der Windturbine durch das Laser-Windmessradar, und gleichzeitiges Erfassen des aktuellen Betriebszustands der Windturbine auf der Grundlage eines voreingestellten Moduls in der Windturbine. Wobei der aktuelle Betriebszustand der Windturbine Folgendes umfasst: einen aktuellen Gierwinkel der Windturbine und die Stromerzeugung.

3. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach Anspruch 2 anwendet, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenvorverarbeitung der WEA-Umgebungsdaten und der historischen WEA-Umgebungsdaten wie folgt durchgeführt wird: Echtzeitverarbeitung der WEA-Umgebungsdaten; Rauschentfernung der historischen WEA-Umweltdaten durch einen Algorithmus zur Filterung des gleitenden Durchschnitts und Verarbeitung fehlender Werte der historischen WEA-Umweltdaten durch lineare Interpolation und sequentielle Durchführung der Datennormalisierung und Merkmalsextraktion, um die Datenvorverarbeitung der WEA-Umweltdaten und der historischen WEA-Umweltdaten zu vervollständigen.

4. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach Anspruch 3 anwendet, dadurch gekennzeichnet, dass die Rauschentfernung der historischen Umgebungsdaten der Windturbine durch einen Algorithmus zur Filterung des gleitenden Durchschnitts durchgeführt wird, der durch die Formel berechnet wird:

$$x_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_{i-j}$$

Wobei x_i die historischen Umweltdaten der Windturbine zum i-ten Zeitpunkt, N eine Fenstergröße und j ein Zeitpunktgrößenindex innerhalb des Fensters ist;

Die besagte Verarbeitung der fehlenden Werte der historischen Umweltdaten der WEA durch lineare Interpolation wird durch die spezifische Formel berechnet:

5

$$y = y_0 + \frac{(x - x_0) \cdot (y_1 - y_0)}{x_1 - x_0}$$

Wobei x_0 , y_0 , x_1 und y_1 , jeweils benachbarte gültige Datenpunkte sind, x eine Position ist, an der sich die fehlenden Daten befinden, und y ein Datenwert nach der Interpolation ist;

Die Datennormalisierung und die Merkmalsextraktion werden sequentiell durchgeführt, wobei die Datennormalisierung durch die Formel berechnet wird:

10

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Wobei x die historischen Umweltdaten der Windturbine sind, $x_{\min}$ und $x_{\max}$ die Minimal- bzw. Maximalwerte der Stichprobe sind und x' die normalisierten historischen Umweltdaten der Windturbine sind;

15

Die besagte Merkmalsextraktion, die insbesondere darin besteht, die Windgeschwindigkeits- Änderungsrate und die Windrichtungs-Änderungsrate in den historischen Umgebungsdaten der Windturbine zu extrahieren, die insbesondere durch die Formel berechnet wird:

$$\Delta v = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

wobei $v(t)$ die Windgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t, Δt das Zeitintervall und Δv die Änderungsrate der Windgeschwindigkeit ist;

20

$$\Delta \theta = \frac{\theta(t + \Delta t) - \theta(t)}{\Delta t}$$

wobei $\theta(t)$ die Windrichtung zum Zeitpunkt t ist und $\Delta \theta$ die Änderungsrate der Windrichtung ist.

25

5. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach Anspruch 4 anwendet, dadurch gekennzeichnet, dass das Giersteuermodell der Windturbine als ein LSTM-Modell konstruiert ist und das LSTM-Modell eine Eingabeschicht, eine LSTM-Schicht, eine vollständig verbundene Schicht und eine Ausgabeschicht umfasst.

6. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach

Anspruch 5 anwendet, dadurch gekennzeichnet, dass die LSTM-Schicht wie folgt berechnet wird. 4U507983

$$\begin{aligned}
h_t, c_t &= \text{LSTM}(Z_t, h_{t-1}, c_{t-1}) \\
i_t &= \sigma(W_i[Z_t, h_{t-1}] + b_i) \\
f_t &= \sigma(W_f[Z_t, h_{t-1}] + b_f) \\
o_t &= \sigma(W_o[Z_t, h_{t-1}] + b_o) \\
\tilde{c}_t &= \tanh(W_c[Z_t, h_{t-1}] + b_c) \\
c_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t \\
h_t &= o_t \odot \tanh(c_t)
\end{aligned}$$

wobei h_t der verborgene Zustand zum Zeitpunkt t , c_t der Einheitszustand zum Zeitpunkt t , Z_t die Eingangsdaten zum Zeitpunkt t , i_t das Eingangsgatter zum Zeitpunkt t , f_t das Vergessengatter zum Zeitpunkt t , o_t das Ausgangsgatter zum Zeitpunkt t , $\tilde{c}_t$ die Kandidaten-Speicherzelle zum Zeitpunkt t , W_* die Gewichtsmatrix jedes Gatters, b_* der Vorspannungsterm jedes Gatters und σ die Sigmoid-Aktivierungsfunktion ist.

7. Ein Giersteuerungssystem, das die Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung nach Anspruch 6 anwendet, dadurch gekennzeichnet, dass die Verlustfunktion, die insbesondere berechnet wird als:

$$L(\Theta) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\hat{\theta}^{(i)} - \theta^{(i)})^2}$$

wobei Θ ein Parameter des Giersteuermodells der Windturbine ist, M die Anzahl der Proben ist, $\hat{\theta}^{(i)}$ der vorhergesagte Wert der i -ten Probe ist und $\theta^{(i)}$ der wahre Wert der i -ten Probe ist.

8. Ein Giersteuerungsverfahren zur Anwendung der Laser-Windmessungs-Radar-Optimierung, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte des Verfahrens Folgendes umfassen:

Erfassen von Umgebungsdaten der Windturbine auf der Grundlage des Laser-Windmessradars und gleichzeitiges Erfassen von historischen Umgebungsdaten der Windturbine;

Die Datenvorverarbeitung wird für die WEA-Umgebungsdaten und die historischen WEA-Umgebungsdaten durchgeführt, und die vorverarbeiteten historischen WEA-Umgebungsdaten werden in einen Trainingssatz und einen Testsatz unterteilt;

Eingabe des Trainingssatzes in das voreingestellte WEA-Gierregelungsmodell für das

Training und Berechnung des Verlustwertes zwischen dem Testsatz und dem Trainingsergebnis durch die Verlustfunktion, iterative Aktualisierung der Parameter des WEA-Gierregelungsmodells und Abschluss des Trainings des WEA-Gierregelungsmodells;

- 5 Auf der Grundlage des trainierten WEA-Gierregelungsmodells werden die vorverarbeiteten WEA-Umgebungsdaten gelöst, um den optimalen Gierwinkel der WEA zu erhalten, und das Giersystem der WEA wird angetrieben, um die Einstellung abzuschließen.

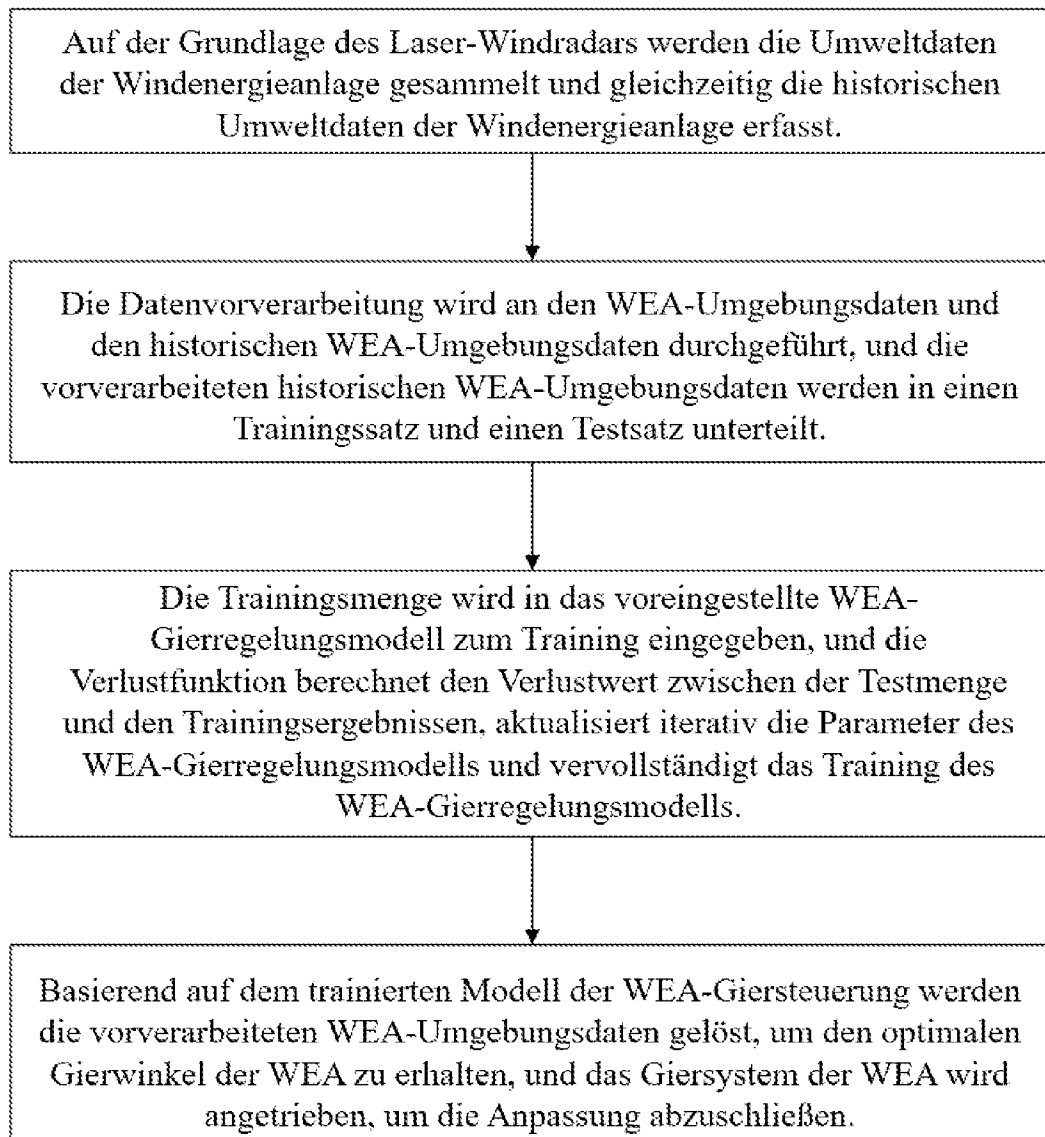


Bild 1