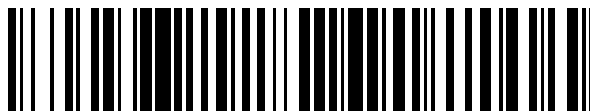


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 409 481**

21 Número de solicitud: 201130514

51 Int. Cl.:

G06N 3/00

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

31.03.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.06.2013

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES

72 Inventor/es:

SALCEDO SANZ, Sancho;
CASANOVA MATEO, Carlos;
PORTILLA FIGUERAS, Antonio;
GIL LÓPEZ, Sergio y
DEL SER LORENTE, Javier

74 Agente/Representante:

GUTIÉRREZ DE MESA, José Antonio

54 Título: **Dispositivo y método de predicción de heladas y nieblas locales basado en computación neuronal con selección de características**

57 Resumen:

Dispositivo y método de predicción de heladas y nieblas locales basado en computación neuronal con selección de características.

Un dispositivo para la predicción local de heladas y nieblas a partir de una serie de datos meteorológicos locales de partida y una serie de medidas previas de heladas y nieblas locales. El dispositivo está formado por una serie de dispositivos de medición y captación de datos meteorológicos (DMCD) (1), dos dispositivos que implementan módulos independientes de computación neuronal, uno para la predicción de helada (3) y otro para la predicción de niebla (4), con un proceso previo de selección de características (5) para cada módulo, una fuente de energía eléctrica principal (6) para la alimentación de los diferentes componentes del dispositivo y un juego de baterías (7) como alimentación eléctrica auxiliar para el caso en que la fuente de energía eléctrica principal no sea capaz de suministrar la energía eléctrica requerida.

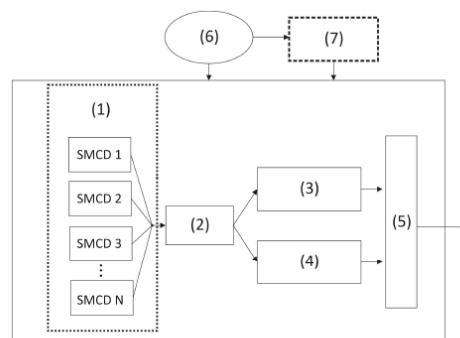


Figura 2

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y método de predicción de heladas y nieblas locales basado en computación neuronal con selección de características.

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se engloba en el campo de la meteorología. Dentro de ese ámbito, en el de la predicción de variables meteorológicas a escala local.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Existen diferentes métodos para la predicción de valores futuros de variables meteorológicas a nivel local. Una clase de estos métodos es la computación neuronal, que engloba diferentes técnicas capaces de resolver problemas de clasificación y regresión, que están caracterizadas por realizar un procesamiento paralelo de la información en unidades de computación básicas, y que incluyen técnicas como las redes neuronales. También se consideran técnicas de computación neuronal otro tipo de técnicas de clasificación o regresión como las máquinas de vectores soporte.

Los métodos de computación neuronal aplicados a problemas de predicción tienen ventajas sobre otros métodos tradicionales, tales como la regresión lineal, la regresión lineal multivariante o los métodos basados en el análisis de series temporales (ARMA, ARIMA). Básicamente, los métodos de computación neuronal mejoran en muchos casos el rendimiento de estos métodos clásicos, y además son mucho más flexibles a la hora de ser aplicados en problemas mal condicionados, con variables no numéricas o en casos de conjuntos de entrenamiento no balanceados. Debido a estas ventajas, los métodos de predicción basados en computación neuronal han sido aplicados con notable éxito en el campo de la meteorología, y más concretamente en la predicción de variables meteorológicas a escala local.

Así, los métodos de computación neuronal han sido empleados en la predicción de diversos fenómenos meteorológicos tales como temperatura ambiente - R. E. Abdel-Aal, "Hourly temperature forecasting using abductive networks," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 543-556, 2004. - , - G. V. Parishwad, R. K. Bhardwaj and V. K. Nema, "Prediction of monthly-mean hourly relative humidity, ambient temperature and wind velocity for India," *Renewable Energy*, vol. 13, pp. 363-380, 1998., - O. A. Dombayc and M. Gölcü, "Daily means ambient temperature prediction using artificial neural networks method: a case study of Turkey," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1158-1161, 2009.-, - B. A. Smith, G. Hoogenboom and R. W. McClendon, "Improving air temperature prediction with artificial neural networks," *International Journal of Computational Intelligence*, vol. 3, no. 3, pp. 179-186, 2007.

También han sido utilizados en problemas de predicción de velocidad de viento - M. Bilgili, B. Sahin and A. Yasar, "Application of artificial neural networks for the wind speed prediction of target station using reference stations data," *Renewable Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2350-2360, 2007. - S. Li, D. C. Wunsch, E. O'Hair and M. Giesselmann, "Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind turbine power curve estimation," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 123, pp. 327-332, 2001. - M. A. Mohandes, T. O. Halawani, S. Rehman, Ahmed A. Hussain, "Support vector machines for wind speed prediction" *Renewable Energy*, vol. 29, no. 6, pp. 939-947, 2004.

Problemas de predicción de radiación solar - M.A. Behrang, E. Assareh, A. Ghanbarzadeh, A.R. Noghrehabadi, "The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data," *Solar Energy*, vol. 84, no. 8, pp. 1468-1480. - O. Şenkal and T. Kuleli, "Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data," *Applied Energy*, vol. 86, no. 7-8, pp. 1222-1228, 2009.

Problemas de predicción de precipitación, - G. Srivastava, S. N. Panda, P. Mondal, J. Liu, "Forecasting of rainfall using ocean-atmospheric indices with a fuzzy neural technique," *Journal of Hydrology*, vol. 395, no. 3-4, pp. 190-198, 2010. - C.L. Wu, K.W. Chau, C. Fan "Prediction of rainfall time series using modular artificial neural networks coupled with data-preprocessing techniques," *Journal of Hydrology*, vol. 389, no. 1-2, pp. 146-167, 2010.

La aplicación de métodos de computación neuronal a la predicción de nieblas y heladas ha sido mucho más limitada y puntual. En el caso de predicción de niebla, cabe destacar el trabajo - D. Fabián, R. de dear and S. Lellyett, "Application of Artificial Neural Network Forecasts to Predict Fog at Canberra International Airport," - donde los autores se basan en datos meteorológicos de archivo del servicio meteorológico de Australia y en informes METAR (parte de información meteorológica aeronáutica regulado en el Anexo 3 al Convenio de Chicago), como variables de entrada a una red neuronal de tipo perceptrón para predicción. Y el trabajo - A. S. Nugroho, S. Kuronayagi and A. Iwata, "Fog forecasting using self growing neural network 'CombNET-II': a solution for imbalanced training sets problems," *Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks*. - donde se utilizan datos meteorológicos de archivo del servicio meteorológico Japonés como entrada a una red neuronal de

tipo self-growing de predicción. En cuanto a la predicción de heladas, cabe destacar el trabajo - L. Ghielmi and E. Eccel, *Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area*, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 54, no. 2, pp. 101-114, 2006.- donde se usan datos de estaciones de medición fijas y de modelos matemáticos para establecer la predicción de temperaturas en tiempo futuro, predicciones que son usadas como entrada a una red de tipo perceptrón para el pronóstico de aparición de hielo.

La selección de características son un conjunto de técnicas usadas en el campo de la computación neuronal para mejorar el rendimiento de estos sistemas. Básicamente comprende cualquier tipo de procedimiento para evaluar la efectividad de una determinada variable de entrada de una red neuronal (conocidas usualmente como características). El objetivo de cualquier procedimiento de selección de características es obtener un conjunto de variables de entrada a la red neuronal más pequeño que el conjunto inicial, de forma que el rendimiento de la red no se vea afectado, o incluso mejore. Los procedimientos de selección de características son aplicables a cualquier tipo de red neuronal, por lo que pueden considerarse procedimientos aplicables al campo de la computación neuronal en general. Existen muchos algoritmos de selección de características, que pueden englobarse en dos grupos bien diferenciados caracterizados por nombres en inglés, los métodos de *filtering* – A. Blue and P. Langley, “*Selection of relevant features and examples in machine learning*,” *Artificial Intelligence*, vol. 97, pp. 245-271, 1997. - , caracterizados por utilizar un modelo independiente de la red neuronal para establecer las características que se mantienen y las que se eliminan, y los métodos *wrapper* – R. Kohavi and G. John, “*Wrappers for feature selection*”, *International Journal of Digital Libraries*, vol. 1, pp. 108-121, 1997. – que utilizan el rendimiento de la propia red neuronal para establecer el conjunto de características a seleccionar. Los métodos de selección de características han sido utilizados para mejorar el rendimiento de redes neuronales en muy diversas aplicaciones - S. Salcedo-Sanz et al. “*Enhancing genetic feature selection through restricted search and Walsh analysis*,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—part C: applications and Reviews*, vol. 34, no. 4, 2004. - E. Alexandre, L. Cuadra, M. Rosa, F. López. *Feature selection for sound classification in hearing aids through restricted search driven by genetic algorithms*. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, vol. 15, no. 8, pp. 2249 – 2256, 2007.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

El objetivo de la presente invención es proporcionar un dispositivo y método para obtener predicciones de helada y niebla en un tiempo futuro prefijado t , mediante dos módulos de computación neuronal independientes, a partir de variables o datos meteorológicos locales (in-situ sobre el lugar de predicción) procedentes de una serie de sensores de medición y captación de datos meteorológicos los cuales son procesados a partir de un algoritmo de selección de características. La presente invención proporciona un dispositivo y método para realizar las predicciones de helada y niebla, y en caso de ser esta predicción positiva, envía un aviso a un centro de proceso de datos y toma de decisiones mediante un dispositivo de transmisión de datos tal como un terminal de telefonía móvil.

Así, en un aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo y método de predicción de nieblas y heladas. Dicho sistema de predicción comprende una pluralidad de variables o datos meteorológicos, donde dicha pluralidad de variables o datos meteorológicos son captados por una serie de sensores de medición y captación de datos meteorológicos situados en el lugar sobre el que se realiza la predicción. El dispositivo y método de predicción está caracterizado por emplear métodos de computación neuronal, incluyéndose en éstos las conocidas como máquinas de vectores de soporte, así como cualquier otra red neuronal aplicable a problemas de clasificación o regresión, mediante el siguiente esquema:

- captar una serie de variables meteorológicas in situ mediante una serie de sensores de medición y captación de datos.
- obtener datos de aparición o no de nieblas y heladas en un tiempo futuro t a partir la obtención de las variables meteorológicas, y etiquetar los datos de variables meteorológicas mediante esta información.
- utilizar estas variables meteorológicas captadas por los sensores de medición y captación de datos y las etiquetas de aparición o no de nieblas o heladas en un tiempo t para entrenar los módulos de computación neuronal correspondientes.
- una vez los módulos están entrenados, se podrá realizar la predicción de niebla o helada para un tiempo prefijado t a partir de la obtención de nuevas variables meteorológicas.

El esquema predictivo emplea un conjunto de L vectores de entrada de longitud $N+1$. Cada vector de entrada contiene un conjunto de N variables meteorológicas medidas en un tiempo pasado, así como la correspondiente etiqueta (en dicho tiempo pasado) de existencia o no de helada o niebla asociada a dicho vector de entrada. Las variables meteorológicas de entrada a los módulos de computación neuronal son un parámetro que se define a partir de un proceso de selección de características, tratando de seleccionar el conjunto de variables meteorológicas que minimicen un determinado error en la predicción empleando los datos históricos en tiempo pasado, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- construir un conjunto de validación (datos históricos) de L vectores de longitud $N+1$, formados por N datos meteorológicos capturados por los sensores de captación de datos meteorológicos, que se asocian uno a uno a etiquetas de existencia de niebla o helada obtenidas para un tiempo t a partir de la obtención de los datos meteorológicos históricos.
- realizar un proceso de selección de características de variables meteorológicas sobre el conjunto de validación.
- dicho proceso de selección está basado en los módulos de computación neuronal. A dichos módulos de computación neuronal se les proporcionan como parámetros de entrada el conjunto de validación etiquetado y proporcionan como salida el subconjunto de M_n variables meteorológicas para el caso del módulo de predicción niebla, donde $M_n < N$, y M_h variables para el módulo de predicción de heladas, donde $M_h < N$.

El rendimiento de los módulos de computación neuronal se basa en un proceso de entrenamiento (sobre los datos históricos o pasados), previo a la predicción, consistente en establecer los valores de los parámetros internos de dichos módulos de computación neuronal a partir del siguiente procedimiento:

- construir un conjunto de entrenamiento con L vectores de dimensión M_n en el caso del módulo de predicción de niebla y M_h en el caso del módulo de predicción de heladas, donde las dimensiones M_n y M_h vienen impuestas por el número de variables a la salida de los módulos de selección de características. Cada muestra del conjunto de entrenamiento está formada por M_n o M_h variables meteorológicas (dependiendo del módulo de predicción considerado) se asocian a unas etiquetas de existencia de niebla o helada, obtenidas para un tiempo *pasado* (datos históricos).
- actualizar los parámetros internos de los módulos de computación neuronal de acuerdo a los datos del conjunto de entrenamiento conformado con los datos históricos en un tiempo pasado, de manera que se minimice una función error genérica, como por ejemplo un error cuadrático, o absoluto, sin descartar ninguna otra opción.
- la función error contabiliza como error cada vez que la salida del módulo de computación neuronal sea diferente a la etiqueta histórica que denota la presencia de niebla o helada en el conjunto de variables o parámetros meteorológicos del conjunto de entrenamiento.

Una vez que se ha procedido al entrenamiento de los módulos de computación neuronal, el dispositivo y método está listo para proporcionar una predicción de helada o niebla en un tiempo futuro t , a partir del siguiente método:

- obtener las variables de entrada a los módulos de computación neuronal mediante los sensores de medición y captación de datos.
- analizar la salida de cada módulo de computación neuronal y detectar si dicho módulo ha pronosticado la aparición de helada o niebla en el tiempo futuro preestablecido t .
- enviar un aviso a un centro de toma de decisiones remoto mediante un terminal de telefonía móvil, si el resultado a la salida de los módulos de computación neuronal es la predicción de helada o niebla en el tiempo futuro preestablecido t .

Como puede apreciarse, las diferencias fundamentales entre los métodos propuestos y los desarrollados por D. Fabián, R. de dear and S. Lellyett, y A. S. Nugroho, S. Kuronayagi and A. Iwata para predicción de nieblas y L. Ghielmi and E. Eccel en predicción de heladas, enumerados en el apartado anterior, residen en la aplicación en nuestro caso de un método de selección de características previo al proceso de predicción, y en que los métodos de computación neuronal son inicializados a partir de variables meteorológicas recogidas in-situ por los sensores de medición y captación de datos, mientras que en el caso de los documentos anteriores de D. Fabián, R. de dear and S. Lellyett, y A. S. Nugroho, S. Kuronayagi and A. Iwata para predicción de nieblas y L. Ghielmi and E. Eccel en predicción de heladas, se utilizaban datos de archivo de diferentes servicios meteorológicos menos adecuados para la predicción a escala local de variables meteorológicas. Otra característica importante de esta invención es que puede funcionar con cualquier tipo de módulo de computación neuronal que resuelva problemas de clasificación y regresión, incluyendo redes neuronales y máquinas de vectores soporte.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo y para completar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo.

En estos dibujos:

La figura 1 muestra un posible escenario de aplicación de la presente invención.

La figura 2 muestra un esquema de la presente invención donde se incluyen sus elementos integrantes.

La figura 3 muestra un esquema genérico del proceso de selección de características integrado en la presente invención.

La figura 4 representa el proceso de entrenamiento que se lleva a cabo en los módulos de computación neuronal de la presente invención.

La figura 5 representa la estructura de una red neuronal de tipo perceptrón multicapa, para ilustrar una realización preferente de los módulos de computación neuronal de la invención.

La figura 6 representa el proceso final de predicción que se lleva a cabo por los módulos de computación neuronal de la presente invención.

MODO DE REALIZACIÓN

El escenario de esta invención, mostrado en la figura 1, es un punto local cualquiera de la superficie terrestre al aire libre. En este punto hay unas condiciones meteorológicas locales que pueden ser caracterizadas por una serie de variables meteorológicas o datos meteorológicos. Estas variables meteorológicas, que definen el estado meteorológico local del punto de la superficie terrestre, pueden ser medidas o captadas in situ por una serie de sensores de variables meteorológicas que obtendrán una serie temporal de medidas para cada variable meteorológica. El dispositivo y método de predicción de heladas y nieblas propuesto se basa en algoritmos de predicción basados en computación neuronal, que parten de estas series de medidas sobre variables meteorológicas, y que, una vez sometidos a los correspondientes procesos de entrenamiento, serán capaces de obtener una predicción de helada y niebla en un tiempo futuro t .

El dispositivo propuesto es mostrado gráficamente en la figura 2. El dispositivo está formado por un conjunto de sensores de medición y captación de datos (SMCD) (1), un módulo intermedio para la realización de un proceso de selección de características (2) destinado a mejorar la predicción, dos módulos de computación neuronal independientes, que obtendrán una predicción de helada (3) y niebla (4) respectivamente, en un tiempo t futuro prefijado a priori, a partir de las variables meteorológicas de salida del módulo de selección de características, un dispositivo de transmisión de datos (5), tal como un terminal de telefonía móvil, para enviar la predicción a un centro remoto de control, una fuente de energía (6) para la alimentación de los diferentes sistemas y un sistema de baterías (7) para el almacenamiento de energía y su posterior empleo si la energía de la fuente no está disponible de forma directa.

Los datos de las variables meteorológicas de un punto de la superficie terrestre se captan a través de una serie de sensores meteorológicos. Estos sensores de medición y captación de datos es conveniente que cumplan con los estándares establecidos por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) de la Organización Meteorológica Mundial de Naciones Unidas, a través de su publicación *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, renovada periódicamente por este organismo internacional. De esta forma se garantiza la correcta toma de medidas de las distintas variables o datos meteorológicos por el dispositivo propuesto.

Las distintas series temporales de variables meteorológicas obtenidas a partir de los sensores de medición y captación de datos son procesadas en un módulo que emplea técnicas de selección de características, cuyo resultado se muestra en la figura 3. El procesado de las N variables meteorológicas de entrada a partir de métodos de selección de características se realiza con el objetivo de que este procesado mejore el entrenamiento de los módulos de computación neuronal. Cualquier método de selección de características implementado se realizará mediante el siguiente procedimiento:

- establecer previamente en el dispositivo el tiempo t a partir de una hora preestablecida h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal.
- construir un conjunto de validación formado por L vectores de dimensión N $v = \{v_1, \dots, v_L\}$, a partir de N datos meteorológicos capturados por los dispositivos de captación de datos. Cada vector v_i de dicho conjunto de entrenamiento se asocia uno a uno a etiquetas de existencia de niebla o helada obtenidas para un tiempo t a partir de la obtención de los datos meteorológicos, de forma que la dimensión total de cada vector es $N+1$.
- realizar un proceso de selección de características de variables meteorológicas sobre el conjunto de validación etiquetado v . Dicho proceso de selección está basado en los módulos de computación neuronal, y es independiente para cada módulo por lo que las variables obtenidas para el módulo de predicción de niebla pueden ser distintas a las variables obtenidas para el módulo de predicción de heladas.
- el proceso de selección de características en cada módulo de computación neuronal consiste en proporcionar a dicho módulo como parámetros de entrada un conjunto de validación etiquetado v , y obtener un subconjunto de M_n variables meteorológicas para el caso del módulo de predicción niebla, donde $M_n < N$, y M_h variables para el módulo de predicción de heladas, donde $M_h < N$. En ambos casos, mediante el proceso de selección de características se obtienen las M_n o M_h variables meteorológicas que

menor error produzcan en el conjunto de validación como variables finales de entrada de los módulos de computación neuronal.

Los módulos de computación neuronal del dispositivo propuesto encargados de realizar la predicción de heladas o nieblas están basados en métodos de computación neuronal, incluyéndose en éstos las conocidas como máquinas de vectores soporte, así como cualquier otra red neuronal capaz de resolver problemas de regresión o clasificación a partir de un conjunto de entrenamiento formado por una serie de vectores de entrada etiquetados. Estas técnicas de computación neuronal están caracterizadas por realizar un procesamiento paralelo de la información en unidades de computación básicas. Independientemente del tipo de algoritmo de computación neuronal utilizado, éste debe pasar por un proceso de entrenamiento ilustrado en la figura 4. El proceso de entrenamiento se lleva a cabo a partir del siguiente método iterativo de entrenamiento:

- construir un conjunto de entrenamiento $e = \{e_1, \dots, e_L\}$ formado por L vectores de variables meteorológicas captadas por los sensores de medición y captación de datos meteorológicos, de dimensión M_n en el caso del módulo de predicción de niebla y M_h en el caso del módulo de predicción de heladas, donde las dimensiones M_n y M_h vienen impuestas por el número de variables a la salida de los módulos de selección de características. Cada muestra del conjunto de entrenamiento e está formada por M_n o M_h variables meteorológicas (dependiendo del módulo de predicción considerado) asociadas una a una a etiquetas de existencia de niebla o helada (H o N en la figura 4), de forma que la dimensión de los vectores en cada uno de los módulos de predicción es M_n+1 y M_h+1 , respectivamente.
- actualizar los parámetros internos de los módulos de computación neuronal de acuerdo a los datos del conjunto de entrenamiento e anterior, de manera que se minimice el error de predicción del correspondiente módulo de computación neuronal. Al basarse en un esquema supervisado de entrenamiento, dicho error de predicción es obtenido contabilizando como error cada vez que la salida del módulo de computación neuronal sea diferente a la etiqueta histórica que denota la presencia de niebla o helada en el conjunto de variables o parámetros meteorológicos del conjunto de entrenamiento o datos históricos.

Una realización preferente de la presente invención, no limitativa ni exclusiva para esta invención, sería la utilización de redes de tipo perceptrón multicapa como módulos de computación neuronal. La estructura de este tipo de redes se muestra en la figura 5. La red de tipo perceptrón está formada por una capa de entrada, donde se introducen las variables que se usan para establecer la predicción. En este caso las variables de entrada serían variables meteorológicas después del proceso de selección de características. Una capa oculta, formada por nodos de procesamiento conocidos como neuronas. Esta capa oculta de neuronas está conectada con la capa de entrada (8) mediante una serie de conexiones modeladas a través de un conjunto de variables conocidas como pesos de la red. En cada neurona de la capa oculta (9) de un perceptrón multicapa se realiza el procesamiento de la información. La relación entre el vector de entrada en la red, y la salida en una neurona de la capa oculta del perceptrón multicapa se define mediante la siguiente expresión:

$$y = \varphi \left(\sum_{i=1}^N w_i x_i - \theta \right)$$

donde y es la salida de la neurona, x_i representa el vector de entrada de dimensión N , donde φ es la función de

transferencia de la neurona, definida como la función logística $\varphi(x) = \frac{1}{1 - e^{-x}}$. El parámetro w_i es el peso

asociado a la neurona i , y θ es un parámetro de *bias* o *umbral* de la red. Finalmente, se establece una capa de salida, en la que se compara la predicción de la red con la salida real para tener una medida del error de aproximación del sistema

El entrenamiento de una red de tipo perceptrón consiste en la obtención de los valores de los pesos asociados a cada neurona y el parámetro de bias de la red (que conforman en este caso los parámetros internos de la red neuronal), que minimicen la función de error establecida en la red, en este caso las diferencias entre la salida de la red y las etiquetas que denotan la presencia o no de niebla o helada, para el conjunto de variables o datos meteorológicos históricos que forman el conjunto de entrenamiento e .

Los módulos de computación neuronal, una vez entrenados, producirán una predicción de heladas o nieblas respectivamente (proceso descrito en la figura 6), en un tiempo futuro preestablecido t , de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- establecer la hora del día a la que el dispositivo realizará la predicción, h .

- establecer previamente en el dispositivo el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal.
- usando datos recogidos por los sensores de medición y captación de datos meteorológicos a la hora de predicción h , se conforma un vector de entrada para los módulos de computación neuronal, que consistirá en una serie de variables meteorológicas, formadas por las M_n variables en el caso del módulo de predicción de niebla, y las M_n variables en el caso del módulo de predicción de heladas, que se obtuvieron del proceso de selección de características.
- cada módulo de computación neuronal, a partir del vector de entrada en la hora de predicción h , proporcionará una predicción en la hora $h+t$, de helada o niebla, respectivamente.
- si el resultado a la salida de los módulos de computación neuronal es la predicción positiva de helada o niebla en el tiempo futuro preestablecido t , enviar un aviso a un centro de control remoto a partir de un sistema o dispositivo de transmisión de datos, tal como un terminal de telefonía móvil.

El dispositivo de predicción de heladas y nieblas propuesto obtiene la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de sus distintos componentes a partir de una fuente de energía eléctrica principal, así como de un juego de baterías que almacenan energía eléctrica y actúan como alimentación eléctrica auxiliar cuando la fuente de energía eléctrica principal no sea capaz de suministrar la energía eléctrica requerida, como se muestra en el esquema genérico del dispositivo de la figura 2.

A la vista de esta descripción del dispositivo propuesto y del juego de figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la predicción local de heladas y nieblas a partir de una serie de variables o datos meteorológicos locales de partida y una serie de medidas previas de heladas y nieblas locales, caracterizado por dos módulos independientes de computación neuronal, uno para la predicción de helada y otro para la predicción de niebla, con un proceso previo de selección de características independiente para cada módulo, alimentados por una serie de datos obtenidos mediante una serie de sensores de medición y captación de datos meteorológicos.

2. Un método de predicción de heladas y nieblas locales, según la reivindicación 1, caracterizado porque utiliza técnicas de computación neuronal, incluyendo en éstas a las conocidas como máquinas de vectores soporte, así como cualquier otra red neuronal capaz de resolver problemas de regresión o clasificación a partir de un conjunto de entrenamiento formado por una serie de vectores de entrada etiquetados, donde dichas técnicas de computación neuronal se implementan en módulos de computación neuronal independientes, e incorporan datos meteorológicos procedentes de una serie de sensores de medición y captación de datos, donde dichos datos meteorológicos son sometidos a un proceso de selección de características independiente para cada módulo, y posteriormente utilizados como parámetros de entrada para el entrenamiento de los módulos de computación neuronal junto con datos de heladas o nieblas existentes que se utilizan como etiquetas de salida deseadas para realizar el entrenamiento de los módulos de computación neuronal, donde dichos módulos, una vez entrenados, producirán una predicción de heladas o nieblas respectivamente, en un tiempo futuro preestablecido t , de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- establecer la hora del día a la que se realizará la predicción, h ;
- establecer el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;
- conformar un vector de entrada para los módulos de computación neuronal usando los datos recogidos por los sensores de medición y captación de datos;
- realizar un proceso de selección de características independientes que servirán de entrada para cada módulo de computación neuronal;
- realizar un proceso de entrenamiento de los módulos de computación neuronal empleando los datos históricos de las características seleccionadas;
- realizar una predicción en la hora $h+t$, de helada o niebla empleando cada módulo de computación neuronal, a partir del vector de entrada en la hora de predicción h ;
- enviar un aviso a un centro de control remoto a partir de un sistema de transmisión de datos si el resultado a la salida de los módulos de computación neuronal es la predicción positiva de helada o niebla en el tiempo futuro preestablecido t .

3. Un método, según la reivindicación 2, caracterizado porque los datos meteorológicos captados por los sensores de medición y captación de datos, son procesados para realizar una selección de las variables meteorológicas que mejore el entrenamiento de los módulos de computación neuronal, mediante el siguiente procedimiento:

- establecer previamente el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;
- construir un conjunto de validación a partir de los datos meteorológicos capturados por los sensores de captación de datos, donde los vectores de dicho conjunto de entrenamiento se asocian uno a uno a etiquetas de existencia de niebla o helada obtenidas para un tiempo t a partir de la obtención de los datos meteorológicos históricos;
- realizar un proceso de selección de características de variables meteorológicas sobre el conjunto de validación en el que dicho proceso de selección es independiente para cada módulo por lo que las variables obtenidas para el módulo de predicción de niebla pueden ser distintas a las variables obtenidas para el módulo de predicción de heladas, consistente en proporcionar a dicho módulo como parámetros de entrada el conjunto de validación etiquetado, donde la salida del proceso de selección de características consiste en un subconjunto de M_n variables meteorológicas para el caso del módulo de predicción niebla, donde $M_n < N$, y M_h variables meteorológicas para el módulo de predicción de heladas, donde $M_h < N$ y, en ambos casos, se obtienen las M_n o M_h variables que menor error produzcan en el conjunto de validación como variables finales de entrada de los módulos de computación neuronal.

4. Un método, según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado porque los procesos de entrenamiento de los módulos de computación neuronal quedan definidos a partir del tipo de módulo de computación neuronal implementado, de los datos meteorológicos obtenidos por los sensores de medición y captación de datos, las variables seleccionadas para cada módulo de computación neuronal por un método de selección de características y por datos existentes de heladas o nieblas locales que conforman los datos de salida deseados en el tiempo futuro preestablecido t , siguiendo el siguiente algoritmo iterativo:

- establecer previamente el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;

- construir un conjunto de entrenamiento con L muestras temporales captadas por los sensores de medición y captación de datos, de dimensión M_n en el caso del módulo de predicción de niebla y M_h en el caso del módulo de predicción de heladas, donde las dimensiones M_n y M_h vienen impuestas por el número de variables a la salida de los módulos de selección de características, donde cada muestra del conjunto de entrenamiento está formada por M_n o M_h variables meteorológicas (dependiendo del módulo de predicción considerado) asociadas una a una a etiquetas de existencia de niebla o helada, obtenidas para un tiempo t a partir del tiempo de obtención de los datos meteorológicos;
- actualizar los parámetros internos de los módulos de computación neuronal de acuerdo a los datos del conjunto de entrenamiento anterior, de manera que se minimice el error de predicción del correspondiente módulo de computación neuronal el cual, al basarse en un esquema supervisado de entrenamiento, dicho error de predicción es obtenido contabilizando como error cada vez que la salida predictiva del módulo de computación neuronal sea diferente a la etiqueta que denota la presencia de niebla o helada en el conjunto de variables o parámetros meteorológicos del conjunto de entrenamiento o datos históricos.

5. Un dispositivo de predicción local de heladas y nieblas a partir de una serie de variables o datos meteorológicos locales de partida y una serie de medidas previas de heladas y nieblas locales, caracterizado por dos módulos independientes de computación neuronal, uno para la predicción de helada y otro para la predicción de niebla, con un proceso previo de selección de características independiente para cada módulo, alimentados por una serie de datos obtenidos de sensores de medición y captación de datos meteorológicos.

6. Dispositivo de predicción de heladas y nieblas locales, según la reivindicación 5, caracterizado porque utiliza técnicas de computación neuronal, incluyendo en éstas a las conocidas como máquinas de vectores soporte, así como cualquier otra red neuronal capaz de resolver problemas de regresión o clasificación a partir de un conjunto de entrenamiento formado por una serie de vectores de entrada etiquetados, donde dichas técnicas de computación neuronal se implementan en módulos de computación neuronal independientes, e incorporan datos meteorológicos procedentes de una serie de dispositivos de medición y captación de datos, integrados en el dispositivo de predicción de nieblas y heladas, donde dichos datos meteorológicos son sometidos a un proceso de selección de características independiente para cada módulo, y posteriormente utilizados como parámetros de entrada para el entrenamiento de los módulos de computación neuronal junto con datos de heladas o nieblas existentes que se utilizan como etiquetas de salida deseadas para realizar el entrenamiento de los módulos, donde dichos módulos, una vez entrenados, producirán una predicción de heladas o nieblas respectivamente, en un tiempo futuro preestablecido t , de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- establecer la hora del día a la que el dispositivo realizará la predicción, h ;
- establecer previamente en el dispositivo el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;
- usando datos recogidos por los sistemas de medición y captación de datos a la hora de predicción h , se conforma un vector de entrada para los módulos de computación neuronal, que consistirá en una serie de variables meteorológicas, formadas por aquellas variables que se obtuvieron del proceso de selección de características en cada módulo de computación neuronal;
- cada módulo de computación neuronal, a partir del vector de entrada en la hora de predicción h , proporcionará una predicción en la hora $h+t$, de helada o niebla, respectivamente;
- si el resultado a la salida de los módulos de computación neuronal es la predicción positiva de helada o niebla en el tiempo futuro preestablecido t , enviar un aviso a un centro de control remoto a partir de un sistema de transmisión de datos.

7. Dispositivo, según la reivindicación 6, caracterizado porque los datos meteorológicos captados por los sensores de medición y captación de datos, son procesados para realizar una selección de las variables meteorológicas que mejore el entrenamiento de los módulos de computación neuronal, mediante el siguiente procedimiento:

- establecer previamente en el dispositivo el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;
- construir un conjunto de validación a partir de los datos meteorológicos capturados por los sensores de captación de datos, donde los vectores de dicho conjunto de entrenamiento se asocian uno a uno a etiquetas de existencia de niebla o helada obtenidas para un tiempo t a partir de la obtención de los datos meteorológicos históricos;
- realizar un proceso de selección de características de variables meteorológicas sobre el conjunto de validación en el que dicho proceso de selección es independiente para cada módulo por lo que las variables obtenidas para el módulo de predicción de niebla pueden ser distintas a las variables obtenidas para el módulo de predicción de heladas, consistente en proporcionar a dicho módulo como parámetros de entrada el conjunto de validación etiquetado, donde la salida del proceso de selección de características consiste en un subconjunto de M_n variables meteorológicas para el caso del módulo de predicción niebla, donde $M_n < N$, y M_h variables meteorológicas para el módulo de predicción de heladas, donde $M_h < N$ y, en ambos casos, se obtienen las M_n o M_h variables que menor error produzcan en el conjunto de validación como variables finales de entrada de los módulos de computación neuronal;

- 5 8. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, caracterizado porque los procesos de entrenamiento de los módulos de computación neuronal quedan definidos a partir del tipo de módulo de computación neuronal implementado, de los datos meteorológicos obtenidos por los sensores de medición y captación de datos, las variables seleccionadas para cada módulo de computación neuronal por un método de selección de características y por datos existentes de heladas o nieblas locales que conforman los datos de salida deseados en el tiempo futuro preestablecido t , siguiendo el siguiente algoritmo iterativo:
- establecer previamente en el dispositivo el tiempo t a partir de la hora h de predicción con el que trabajarán los módulos de computación neuronal;
 - 10 • construir un conjunto de entrenamiento con L muestras temporales captadas por los dispositivos de medición y captación de datos, de dimensión M_n en el caso del módulo de predicción de niebla y M_h en el caso del módulo de predicción de heladas, donde las dimensiones M_n y M_h vienen impuestas por el número de variables a la salida de los módulos de selección de características, donde cada muestra del conjunto de entrenamiento está formada por M_n o M_h variables meteorológicas (dependiendo del módulo de predicción considerado) asociadas una a una a etiquetas de existencia de niebla o helada, obtenidas para un tiempo
 - 15 t a partir del tiempo de obtención de los datos meteorológicos;
 - actualizar los parámetros internos de los módulos de computación neuronal de acuerdo a los datos del conjunto de entrenamiento anterior, de manera que se minimice el error de predicción del correspondiente módulo de computación neuronal el cual, al basarse en un esquema supervisado de entrenamiento, dicho error de predicción es obtenido contabilizando como error cada vez que la salida predictiva del módulo de computación neuronal sea diferente a la etiqueta que denota la presencia de niebla o helada en el conjunto de variables o parámetros meteorológicos del conjunto de entrenamiento o datos históricos;
 - 20
- 25 9. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las diferentes etapas de los métodos según cualquiera de las reivindicaciones de la 2 a la 4, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una disposición de puertas de campo programable, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador, y cualquier otra forma de hardware programable.

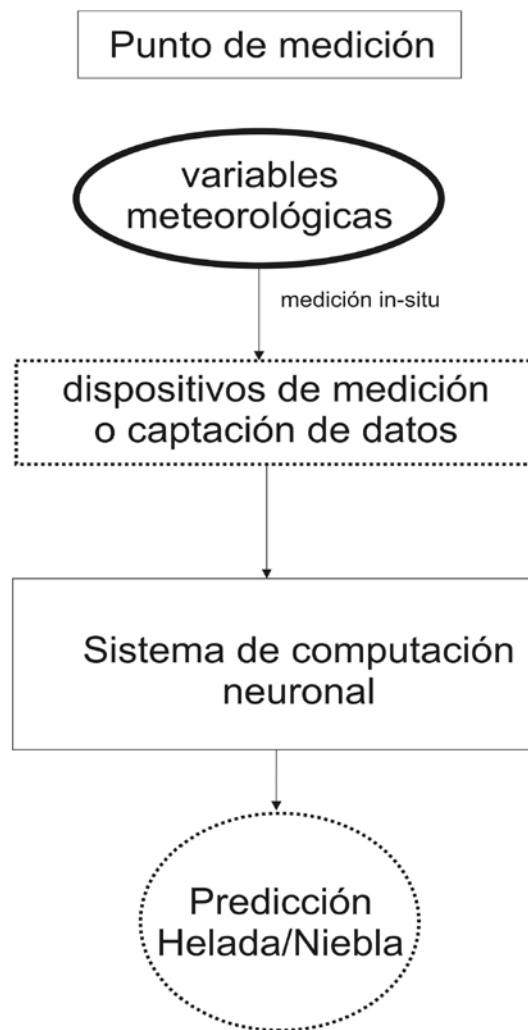


Figura 1

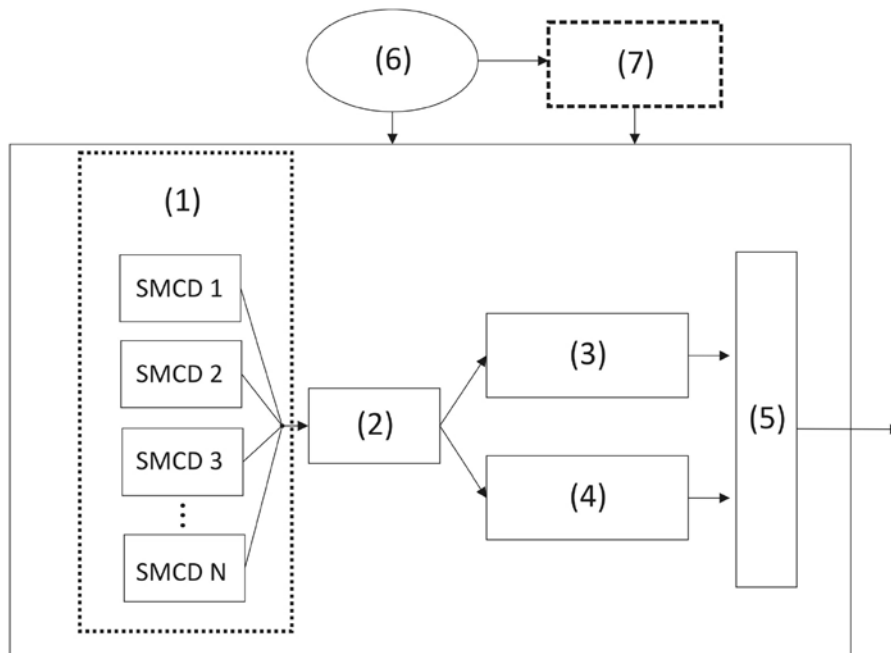


Figura 2



Figura 3

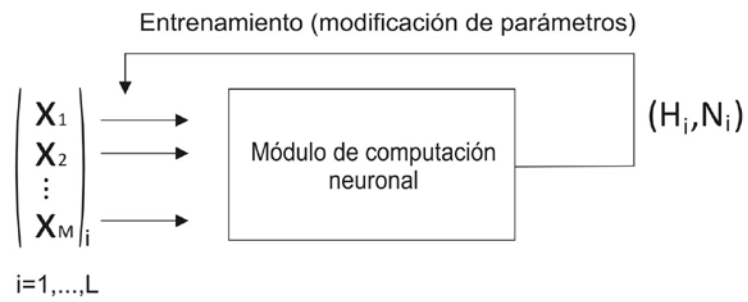


Figura 4

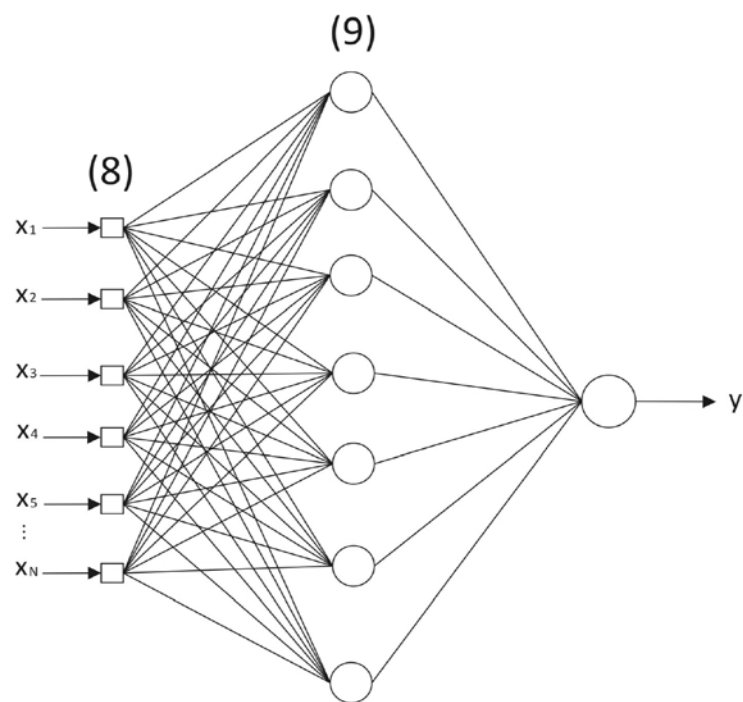


Figura 5

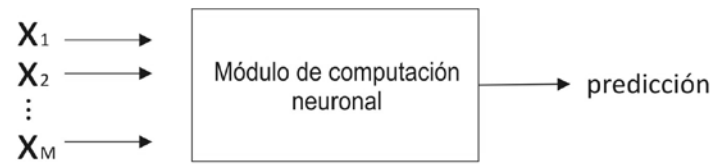


Figura 6