



Predictores de energía recolectada en redes de sensores: sencillez y eficiencia

S. Herrería Alonso, A. Suárez González, M. Rodríguez Pérez, R. Rodríguez Rubio, C. López García
atlanTTic Research Center,
Universidade de Vigo,
Rúa Maxwell s/n, Vigo 36310.
{sha,asuarez,miguel,rrubio,candido}@det.uvigo.es

La luz solar y el viento son dos de las fuentes de energía ambientales más accesibles para el posible abastecimiento de baterías recargables en las redes de sensores inalámbricas. Pero, aunque virtualmente ilimitadas, su aporte energético también es impredecible ya que ambas sufren variaciones significativas debido a unas condiciones climáticas variables (estación del año, momento del día, emplazamiento geográfico...). Es por ello que resulta de utilidad que los elementos de la red (sensores) usen predictores que les permitan una adaptación efectiva de su gasto energético a la dinámica prevista de captación de energía. Resulta asimismo de interés que, en el caso de dispositivos con capacidades limitadas (característica habitual en las redes de sensores), estos predictores sean de baja complejidad para no despilfarrar la energía disponible en sus cálculos. En esta ponencia presentamos brevemente los predictores *Ángulo de altura solar* y *ARIMA adaptativo*, comparándolos con predictores propuestos en el mismo campo.

Palabras Clave—gestión de energía, energía recolectada, predicción de energía, energía solar, energía eólica

I. INTRODUCCIÓN

Siendo la luz solar y el viento las fuentes de energía naturales más atractivas para suministrar energía dinámicamente a los elementos en una red de sensores, resulta de interés el disponer de predictores sencillos que permitan al sensor una adaptación efectiva de su gasto energético a la dinámica de su reabastecimiento/captación de energía.

En esta ponencia presentamos dos métodos de predicción de captación de energía, *Ángulo de altura solar* y *ARIMA adaptativo*, diseñados específicamente para el caso solar y eólico, respectivamente. Asimismo mostramos una comparativa con respecto a dos predictores previamente propuestos en la literatura para el mismo fin, Pro-Energy [1] y D-WCMA/UD-WCMA [2], utilizando como métrica de comparación el error absoluto medio (*Mean*

Absolute Error)

$$\text{MAE} = \frac{\sum |E_{[n,n+h]} - \hat{E}_{[n,n+h]}|}{\text{numero de predicciones}}, \quad (1)$$

con $E_{[n,n+h]}$ y $\hat{E}_{[n,n+h]}$ la muestra actual y la predicha para intervalos n a $n+h$ respectivamente.

II. ÁNGULO DE ALTURA SOLAR

En [3] presentamos un sencillo predictor de la energía solar disponible en función del ángulo de altura solar θ' (AAS), tal y como se muestra en la figura 1, y del último dato de energía recolectada. Y evaluamos también una implementación simplificada de nuestro algoritmo, utilizando la función seno (función de los tiempos de salida y puesta del sol, y ángulo de incidencia al mediodía solar) en vez del valor exacto original, de cálculo más pesado.

$$\theta_t \approx \theta_{\text{noon}} \sin\left(\pi \frac{t - t_{\text{rise}}}{t_{\text{set}} - t_{\text{rise}}}\right), \quad t_{\text{rise}} \leq t \leq t_{\text{set}}, \quad (2)$$

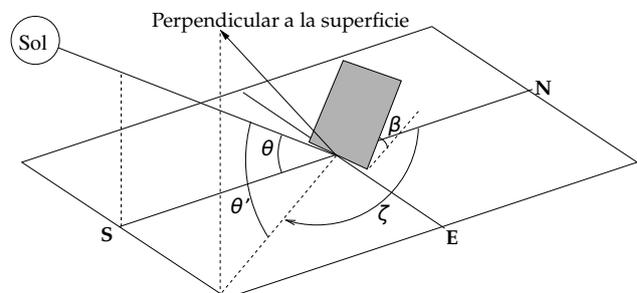


Fig. 1. Ángulo de incidencia solar sobre una superficie inclinada

En la figura 2 se muestra su mejor desempeño en el corto plazo (hasta 1 hora) —incluso considerando la implementación simplificada (AAS-sen)— para el caso de una traza del NREL [4]; y con menor carga computacional

en comparación con predictores más elaborados (Pro-Energy y D-WCMA) que sólo tienen en cuenta el historial de datos de energía generada,

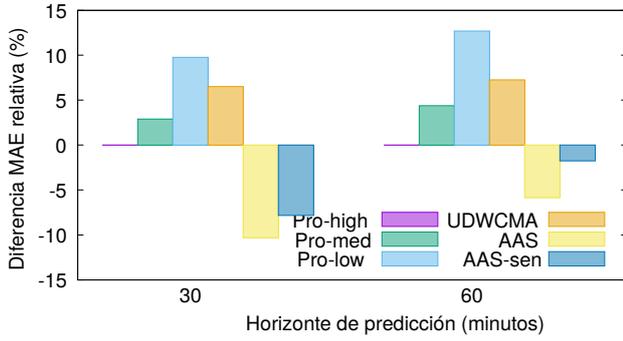


Fig. 2. Mean Absolute Error respecto a Pro-High

III. ARIMA ADAPTATIVO

En [5] presentamos un sencillo predictor de energía del viento, seleccionando en tiempo de ejecución bien un modelo ARIMA(1,1,1)

$$\nabla s_n - \varphi_1 \nabla s_{n-1} = \varepsilon_n - \theta_1 \varepsilon_{n-1}, \quad (3)$$

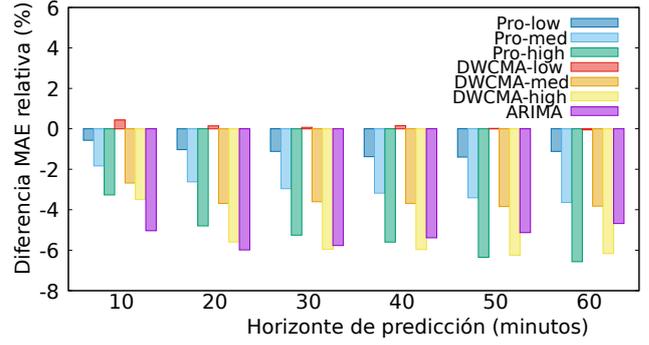
bien uno ARIMA(0,1,2) —si el anterior resulta en un estimador inestable—

$$\nabla s_n = \varepsilon_n - \theta_1 \varepsilon_{n-1} - \theta_2 \varepsilon_{n-2}. \quad (4)$$

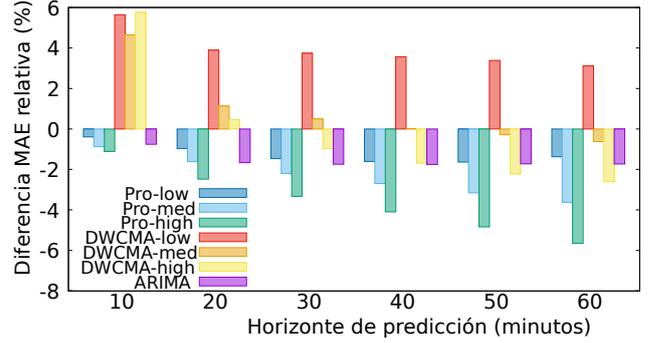
En la figura 3 se compara en el corto plazo su poder predictivo con los predictores Pro-Energy y D-WCMA para dos trazas. En los resultados para la traza ORNL 2018 [4] de la figura 3(a) —donde el ARIMA adaptativo se estabiliza rápidamente en el modo ARIMA(1,1,1)— se aprecia cómo sólo al aumentar el horizonte de predicción hacia la media hora consiguen ser superiores los predictores de mayor carga computacional (Pro-Energy-high y DWCMA-high), mientras los de carga intermedia y baja siguen dando estimaciones peores. En la traza SRRL 2019 [6], sin embargo, se aprecia como, si bien es superado por Pro-Energy-high ya desde el horizonte temporal más corto, el ARIMA adaptativo —estabilizado rápidamente en el modo ARIMA(0,1,2)— da resultados parejos a los de media y baja carga hasta el horizonte temporal de media hora.

IV. CONCLUSIONES

En el ámbito de la red de sensores, donde los elementos de la red tendrán limitaciones inherentes a su diseño y despliegue, tanto en potencia de cálculo como, más general, en disponibilidad de energía, el aumento de complejidad en los predictores de captación de energía del ambiente puede no estar justificado. En los casos particulares de energía solar y energía eólica hemos presentado sendos predictores de complejidad baja a muy baja, capaces de obtener resultados tan precisos como predictores previos de mayor complejidad, sobre todo al corto plazo, en horizonte temporal de media hora.



(a) Traza ORNL 2018



(b) Traza SRRL 2019

Fig. 3. Mean Absolute Error respecto a estimador persistente

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i / PID2020-113240RB-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/.

REFERENCIAS

- [1] A. Cammarano, C. Petrioli, and D. Spenza, "Online energy harvesting prediction in environmentally powered wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 17, pp. 6793–6804, sep 2016.
- [2] A. H. Dehwah, S. Elmetennani, and C. Claudel, "UD-WCMA: An energy estimation and forecast scheme for solar powered wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 90, pp. 17–25, jul 2017.
- [3] S. Herrera-Alonso, A. Suárez-González, M. Rodríguez-Pérez, R. F. Rodríguez-Rubio, and C. López-García, "A solar altitude angle model for efficient solar energy predictions," *Sensors*, vol. 20, no. 5, p. 1391, 2020.
- [4] C. Maxey and A. Andreas, "Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Rotating Shadowband Radiometer (RSR)," NREL Report No. DA-5500-56512, Oak Ridge, TN, USA, 2007, <http://dx.doi.org/10.5439/1052553>.
- [5] S. Herrera-Alonso, A. Suárez-González, M. Rodríguez-Pérez, R. F. Rodríguez-Rubio, and C. López-García, "Efficient wind speed forecasting for resource-constrained sensor devices," *Sensors*, vol. 21, no. 3, p. 983, 2021.
- [6] A. Andreas and T. Stoffel, "Solar Radiation Research Laboratory (SRRL): Baseline Measurement System (BMS)," NREL Report No. DA-5500-56488, Golden, CO, USA, 1981, <http://dx.doi.org/10.5439/1052221>.