

Marek GOŁĘBIOWSKI, Damian MAZUR

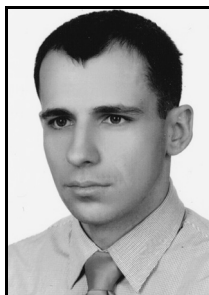
POLITECHNIKA RZESZOWSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI,
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

Model dwustanowy prognozowania wydajności turbiny wiatrowej

Dr inż. Marek GOŁĘBIOWSKI

Urodził się w Rzeszowie, gdzie w 2002 roku ukończył Politechnikę Rzeszowską na kierunku Automatyka z Informatyką. W roku 2010 uzyskał tytuł doktora nauk technicznych w zakresie dyscypliny "elektrotechnika". Pracuje w Katedrze Elektrotechniki i Podstaw Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Jego zainteresowania naukowe obejmują: Obliczenia polowe z wykorzystaniem metody elementów skończonych, maszyny elektryczne i ich sterowanie, układy energoelektroniczne oraz metody numeryczne w technice.

e-mail: yegolebi@prz.edu.pl



Dr inż. Damian MAZUR

Dr inż. Damian Mazur pracuje w Katedrze Elektrotechniki i Podstaw Informatyki Politechniki Rzeszowskiej na stanowisku adiunkta. W pracy dydaktycznej zajmuje się diagnostyką urządzeń elektromechanicznych (obliczeniami i pomiarami maszyn elektrycznych), metodami numerycznymi (metodą elementów skończonych, brzegowych), programowaniem obiektowym i bazami danych.

e-mail: mazur@prz.edu.pl



Streszczenie

W artykule przedstawione zostały modele markowa prognozowania wydajności turbiny wiatrowej zależnej od wiejącego wiatru. Prognozowanie wydajności turbiny można oprzeć nawet na prostym modelu dwustanowym. Dobór parametrów modelu dwustanowego pozwala na określenie, jaka jest w ciągu stanów pracy turbiny średnia długość ciągów tego samego typu. W artykule przedstawiona została metoda prognozowania wydajności pracy turbiny wiatrowej oparta na niejawnych łańcuchach Markowa. Zaproponowane w pracy podejście oparte jest na dwóch twierdzeniach związanych z algorytmem przód-tył oraz algorytmem Bauma-Welcha.

Słowa kluczowe: turbina wiatrowa, modele Markowa, prognozowanie.

Two state prediction model of wind turbine efficiency

Abstract

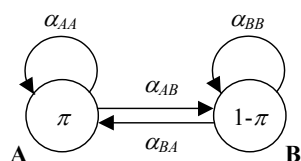
This paper presents the Markov model of the wind turbine efficiency prediction. As the share of wind generated energy in total energy production constantly increases, the precise prediction of the wind turbine efficiency has become an important issue. The prediction of the efficiency of the wind turbine can be based on a simple, two state, model. In this model state A represents the high efficiency operation and state B the low efficiency operation of the wind turbine. The quality of this model is investigated. The two state model parameter recognition allows determination of the average duration of the sequence of states of the same type. The presented method is based on implicit Markov chains. The proposed approach is based on two, well known, algorithms. The forward-backward and Baum-Welch algorithms are used. The investigated method is an alternative to a commonly used method based on the wind velocity and direction measurements and the Weibull distribution of wind speed. Since these measurements are taken at the altitude of 10m this method is inaccurate.

Keywords: wind turbine, Markov model, prediction.

1. Wstęp

Do prognozowania wydajności turbiny wiatrowej można zastosować modele niedeterministyczne teorii kolejek [1, 3, 4].

Poniżej został przedstawiony model dwustanowy, przy pomocy którego można prognozować wydajność turbiny w przypadku, gdy rozróżniane są dwa stany wydajności [4]. Modelem wydajności jest dwustanowy model Markowa przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Model dwustanowy wydajności turbiny (źródło [4])
Fig. 1. Two state turbine efficiency model (source [4])

Pracę turbiny z wysoką wydajnością modeluje stan A, natomiast pracę turbiny z niską wydajnością modeluje stan B. Rozróżniane są więc dwa stany wydajności ($s = 2$). Zmiana prognozowanej wydajności z jaką pracuje turbina odbywa się w chwili przejścia modelu ze stanu do stanu.

Model zmienia stan w ustalonych odstępach czasu, w których są rejestrowane wydajności turbiny. Niedeterministyczny jest natomiast ciąg stanów, w których przebywa model.

Przyjęte zostały następujące oznaczenia:

- prawdopodobieństwo przebywania modelu w stanie A wynosi $\pi \in (0, 1)$,
- prawdopodobieństwo przebywania modelu w stanie B wynosi $1 - \pi$,
- prawdopodobieństwo przejścia ze stanu A do B wynosi $\alpha_{AB} \in (0, 1)$,
- prawdopodobieństwo przejścia ze stanu B do A wynosi $\alpha_{BA} \in (0, 1)$,
- prawdopodobieństwa pozostawania w stanach wynoszą odpowiednio $\alpha_{AA} = 1 - \alpha_{AB}$, $\alpha_{BB} = 1 - \alpha_{BA}$.

W modelu tym π jest prawdopodobieństwem, że turbina pracuje z wysoką wydajnością, natomiast $1 - \pi$ jest prawdopodobieństwem, że pracuje z niską wydajnością.

Przyjęte oznaczenia nie są niezależne. W stanie ustalonym spełnione są dwa wiążące je równania

$$\left. \begin{aligned} \pi &= (1 - \alpha_{AB})\pi + \alpha_{BA}(1 - \pi) \\ 1 - \pi &= \alpha_{AB}\pi + (1 - \alpha_{BA})(1 - \pi) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Wynika stąd, że:

$$\frac{\alpha_{AB}}{\alpha_{BA}} = \frac{1 - \pi}{\pi} \quad (2)$$

Można więc zapisać, że:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{AB} &= \alpha(1 - \pi) \\ \alpha_{BA} &= \alpha\pi \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

gdzie: α jest liczbą z przedziału $(0, \min\{1/\pi, 1/(1-\pi)\})$.

Tak więc istnieje nieskończenie wiele łańcuchów Markowa spełniających nasze założenia. Różnią się one prawdopodobieństwami przejść.

Jeżeli α jest bliskie zera to w ciągu stanów w jakich pracuje turbina występują długie ciągi tego samego typu (model rzadko zmienia stan). Gdy $\alpha = \min\{1/\pi, 1/(1-\pi)\}$, wtedy w ciągu stanów występują krótkie ciągi tego samego typu (model często zmienia stan, a dokładniej prawdopodobieństwo wyjścia ze stanu o mniejszym prawdopodobieństwie przebywania jest równe 1. Gdy $\alpha = 1$ ($0 < 1 \leq \min\{1/\pi, 1/(1-\pi)\}$) to różne stany pracy występują po sobie

w sposób niezależny i tworzą ciąg prób Bernoulliego. Mamy bowiem

$$\left. \begin{aligned} P(A^{n+1} / B^n) &= \frac{P(A^{n+1} \cap B^n)}{P(B^n)} = \frac{\alpha_{BA} \cdot P(B^n)}{P(B^n)} = \\ &= \alpha_{BA} = 1 \cdot \pi = P(A^{n+1}) \\ P(B^{n+1} / A^n) &= \frac{P(B^{n+1} \cap A^n)}{P(A^n)} = \frac{\alpha_{AB} \cdot P(A^n)}{P(A^n)} = \\ &= \alpha_{AB} = 1 \cdot (1 - \pi) = P(B^{n+1}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

2. Przykład zastosowania modelu dwustanowego

Na podstawie obserwacji pracy turbiny należy zgromadzić dane o stanie, w którym pracowała turbina w kolejnych, arbitralnie przyjętych, odcinkach czasu. Na podstawie zanotowanego ciągu stanów identyfikowane są parametry modelu.

Jeżeli prawdopodobieństwem pracy turbiny w wysokim stanie $\pi \geq 1/2$, wtedy najprostszym sposobem prognozowania przyszłego stanu pracy zawsze jako wysoki, kończył się sukcesem z prawdopodobieństwem $\pi \geq 1/2$. Użycie przedstawionego prostego modelu umożliwia poprawienie strategii prognozowania i zwiększenie liczby sukcesów.

Dla przyjętego modelu możemy przewidywać stan pracy turbiny w chwili $n+1$ jedynie na podstawie tego w jakim stanie pracuje w chwili n . Z twierdzenia o prawdopodobieństwie całkowitym oraz prawdopodobieństwie dwóch zdarzeń niezależnych, prawdopodobieństwo odniesienia sukcesu (trafnej prognozy) wynosi

$$J = \sum_i p_i \left(\sum_j q_{ij} p_{ij} \right) \quad (5)$$

gdzie: p_i są prawdopodobieństwami pracy w stanie i ($i = 1, 2, \dots, s$), p_{ij} są prawdopodobieństwami przejść ze stanu i do j ($i, j = 1, 2, \dots, s$), q_{ij} są prawdopodobieństwami opisującymi strategię postępowania ($i, j = 1, 2, \dots, s$).

Wartość q_{ij} jest prawdopodobieństwem z jakim przewidujemy, że turbina pracuje w stanie j jeżeli wiemy, że w okresie wcześniejszym pracowała w stanie i . Naszym zadaniem jest dobranie wartości q_{ij} tak, aby maksymalizować prawdopodobieństwo J . Wartości p_i, p_{ij} są znane z obserwacji pracy turbiny.

Łatwo zauważyć, że dla każdego i

$$\sum_j q_{ij} p_{ij} \leq \sum_j (q_{ij} \max_j p_{ij}) = (\max_j p_{ij}) \sum_j q_{ij} = \max_j p_{ij} \quad (6)$$

Jeżeli

$$q_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dla takiego } j \text{ dla którego } p_{ij} \text{ jest maksymalne} \\ 0 & \text{dla pozostałych } j \end{cases} \quad (7)$$

wtedy

$$\sum_j q_{ij} p_{ij} = \max_j p_{ij} \quad (8)$$

Mamy więc z (5)

$$J_{\max} = \sum_i (p_i \max_j p_{ij}) \quad (9)$$

Najlepszą strategię prognozowania uzyskujemy więc wtedy, gdy przewidujemy w następnej chwili stan pracy, do którego ze stanu aktualnego prowadzi maksymalna wartość przejścia p_{ij} .

W przypadku rozważania dwóch stanów ($s=2$) mamy:

$$\begin{aligned} J_{\max} &= p_1 \max_{j=1,2} p_{1j} + p_2 \max_{j=1,2} p_{2j} = \\ &= \pi \max_{j=A,B} \alpha_{Aj} + (1 - \pi) \max_{j=A,B} \alpha_{Bj} \end{aligned} \quad (10)$$

Przykład 1

Dla systemu z rysunku 1 przyjmujemy

$$\pi = \frac{4}{7}, \quad \alpha = \frac{7}{5} \quad (11)$$

Wtedy mamy

$$\alpha_{AB} = \frac{4}{5}, \quad \alpha_{BA} = \frac{3}{5} \quad (12)$$

$$J_{\max} = \pi \alpha_{AB} + (1 - \pi) \alpha_{BA} = \frac{5}{7} \quad (13)$$

Strategia polegająca na prognozowaniu zawsze wysokiego stanu pracy turbiny pozwala na uzyskanie sukcesu tylko z prawdopodobieństwem $J = \pi = 4/7$. Dla systemu z tego przykładu należy jednak prognozować stan pracy zawsze inny, niż ten z wcześniejszego okresu, co pozwala na sukces z prawdopodobieństwem $J_{\max} = 5/7 > 4/7$.

Przykład 2

Dla systemu z rysunku 1 przyjmujemy

$$\pi = \frac{5}{9}, \quad \alpha = \frac{3}{4} \quad (14)$$

Wtedy mamy

$$\alpha_{AB} = \frac{5}{12}, \quad \alpha_{BA} = \frac{1}{3} \quad (15)$$

$$J_{\max} = \pi(1 - \alpha_{AB}) + (1 - \pi)(1 - \alpha_{BA}) = \frac{67}{108} \quad (16)$$

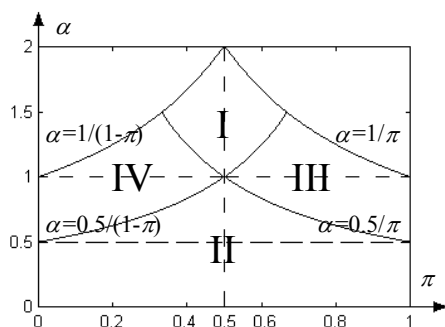
3. Wnioski

Strategia polegająca na prognozowaniu zawsze wysokiego stanu pracy turbiny pozwala na uzyskanie sukcesu tylko z prawdopodobieństwem $J = \pi = 5/9$. Dla systemu z tego przykładu należy jednak prognozować stan pracy zawsze taki sam, jak ten z wcześniejszego okresu, co pozwala na sukces z prawdopodobieństwem $J_{\max} = 67/108 > 5/9$.

Aby wybrać najlepszą strategię prognozowania stanu pracy turbiny nie wystarczy w ogólnym przypadku znać prawdopodobieństw π oraz $1 - \pi$. Właściwe jest natomiast określenie wartości prawdopodobieństw przejścia α_{AB} oraz α_{BA} . Wartości te można określić obserwując pracę turbiny. Wartość α_{AB} jest na przykład stosunkiem liczby zaobserwowanych przejść ze stanu A do B , do liczby, która określa ile razy system znajdował się w stanie A . Właściwe może być wyznaczenie tych parametrów odrębnie dla różnych pór roku, dni tygodnia oraz godzin doby, ze względu na zróżnicowanie siły wiatru.

Na rysunku 2 zostały przedstawione zbiory wartości π oraz α , dla których są optymalne różne strategie prognozowania. Dla

parametrów systemu ze zbioru I optymalne jest prognozowanie zawsze stanu innego niż stan z wcześniejszego okresu (przykład 1). Dla parametrów systemu ze zbioru II optymalne jest prognozowanie zawsze stanu takiego samego jak stan z wcześniejszego okresu (przykład 2). Dla zbioru III należy prognozować zawsze stan wysoki A, natomiast dla zbioru IV zawsze stan niski B.



Rys. 2. Zbiory wartości π oraz α , dla których są optymalne różne strategie postępowania (źródło [4])

Fig. 2. Sets of π and α values for which various strategy procedures are optimal (source [4])

4. Literatura

- [1] Filipowicz B.: Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych, Warszawa, WNT (1996).
- [2] Shomali M., Kapusta M., Gajer M.: Zastosowanie niejawnych modeli Markowa w systemach automatycznego rozpoznawania mowy, Elektrotechnika i Elektronika, Tom 18, Zeszyt 3, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, (1999), 89-98.
- [3] Szostek R.: Systemy kolejkowe z niewykładniczym węzłem obsługi, Półrocznik AGH Elektrotechnika i Elektronika, Kraków, t. 19, z. 1, (2000), 1-8.
- [4] Szostek R., Szostek K.: Analiza systemów kolejkowych ze strumieniami zgłoszeń zawierającymi różne typy zgłoszeń, Półrocznik AGH Elektrotechnika i Elektronika, Kraków, t. 22, z. 2, (2003), 106-113.
- [5] Szostek R., Suraj Z.: Wykorzystanie niejawnych łańcuchów Markowa do analizy temporalnych systemów informacyjnych, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Matematyka, Rzeszów, z. 26, (2002), 263-273.

otrzymano / received: 12.07.2013

przyjęto do druku / accepted: 02.09.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Rozstrzygnięcie Konkursu INNOWACJE 2013

W pierwszym dniu XVII Konferencji Automatyków RYTRO'2013 profesor Ryszard Tadeusiewicz wspólnie z redaktorem Ryszardem Klenczem z miesięcznika Napędy i Sterowanie ogłosili wyniki konkursu „INNOWACJE 2013”, który był zorganizowany przez redakcję miesięcznika NiS, pod Patronatem Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości i firmy SKAMER ACM. Celem konkursu była promocja wyróżniających się osiągnięć w dziedzinie automatyki, pomiarów, instalacji innowacji produktowych. Przyznano wyróżnienia w IV kategoriach:

• I. Nowe technologie:

- Medal I stopnia dla firmy MPWiK Kraków za: Instalację turbiny napędzającej generator do wytwarzania energii elektrycznej w celu odzyskania nadwyżek energii w rurociągu przesyłowym wody uzdatnionej.
- Medal II stopnia dla firmy EMERSON PROCESS MANAGEMENT za: Bezprzewodowy przetwornik akustyczny Rosemount 708.

• II. Aparatura kontrolno pomiarowa i systemy sterowania

- Medal I stopnia dla firmy PEPPERL FUCHS za: Skaner R 2000.

- Medal II stopnia dla firmy TURCK za: Moduły komunikacyjne serii MULTIPROTOCOL.

• III. Napędy i instalacje elektryczne:

- Medal I stopnia dla firmy EATON ELECTRIC za: Rozdzielnice iMCC -pola kasetowe xEnergy XW z komunikacją SmartWire -DT.
- Medal II stopnia dla firmy DANFOSS za: VLT OGD w wykonaniu higienicznym.

• IV. Najbardziej innowacyjny produkt/rozwiązanie:

- Medal I stopnia dla firmy MPWiK Kraków za: Instalację turbiny napędzającej generator do wytwarzania energii elektrycznej w celu odzyskania nadwyżek energii w rurociągu przesyłowym wody uzdatnionej.
- Medal II stopnia przyznano firmie PEPPERL FUCHS za: Skaner R 2000.
- Medal III stopnia dla firmy EATON ELECTRIC za: Rozdzielnice iMCC -pola kasetowe xEnergy XW z komunikacją SmartWire-DT.

- Przyznano również **nagrodę specjalną** miesięcznika Napędy i Sterowanie firmie ELKON za: Innowacyjną technologię i urządzenie do hartowania indukcyjnego powierzchniowego.