Буянкин В.М.

Искусственный интеллект для нейроидентификации характеристик ионизированной плазмы

МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-04-2020-22

idsp: lj-04-2020-22

Аннотация

В статье рассматривается метод нейроматематической прогнозируемой идентификации характеристик низкотемпературной ионизированной плазмы с использованием ансамбля нейронных сетей с нечеткой логикой для ионно-плазменной установки МАП-3 при напылении расплавленных высокотемпературных металлов для лопаток авиационных двигателей в ВИАМе (Всероссийский институт авиационных материалов), который позволил повысить точность идентификации напряжения, тока, давления плазмы.

1. Введение, постановка задачи

Классическое решение нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы в низкотемпературной ионизированной плазме, представляет большие сложности, требует много времени и дает большие погрешности. Поэтому необходим новый более точный и более быстродействующий метод идентификации параметров и характеристик ионизированной плазмы. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование нейронных сетей, которые позволяют обойти процесс решения нелинейных дифференциальных уравнений и упрощают определение параметров ионизированной плазмы [1]. При идентификации с использованием нейронных сетей используется параллельность вычислений с высокой гибкостью базовых функций, связанных с адаптацией входных данных и возможностью управления числом элементов суммирования, что позволяет достичь более высокой точности прогнозируемых нелинейных статических и динамических параметров и характеристик ионизированной плазмы.

2. Решение проблемы

Структурная схема метода [2,3,4] нейроидентификации характеристик ионизированной плазмы с использованием ансамбля нейронных сетей представлена на рис. 1.

Рис. 1. Структурная схема метода синтеза нейропрогнозирующей идентификации с использованием ансамбля нечетких нейронных сетей

$$e_m = Y_T - \frac{2m}{\pi} \arctg \left(\sum_{i\eta=0}^N w_{h2h1} \left[\frac{2m}{\pi} \arctg \left(\sum_{i=0}^{\eta} w_{i\eta} x_i(n) \right) + m \right] \right) + m. \quad (3)$$

При оптимизации поиска параметров нейронной сети используется функционал минимизации средней квадратичной ошибки, который выглядит следующим образом:

$$\Phi(n) = \min \frac{1}{2} \sum_{hk=1}^a e_m^2(n). \quad (4)$$

Параллельный алгоритм настройки двухслойной нейронной сети имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi(n)}{dw_{h_1, h_2}} &= \frac{d}{dw_{h_1, h_2}} \frac{1}{2} \left(\sum_{h_2=1}^a (y_{h_2}(n) - F(n, h_2))^2 \right) = \sum_{h_2=1}^a e_{h_2}(n) \frac{dy_{h_2}(n)}{dw_{h_2, h_1}} = \sum_{h_1=0}^a \frac{w_{h_2, h_1} 2m}{\pi(1 + g_{i\eta}^2(n))} \frac{d}{dw} * \\ &* \sum_{h_2=1}^a e_{h_2}(n) \sum_{h_2=1}^a \frac{2me_{h_2}(n)}{\pi(1 + g_{h_2}^2(n))} = \sum_{h_2=1}^a \frac{2me_{h_2}(n)}{\pi(1 + g_{h_2}^2(n))}, \end{aligned} \quad (5)$$

где n - текущий момент времени; y_{h_2} - выход второго слоя нейронов; e_{h_2} - ошибка решения во втором слое нейронов для текущего момента времени; $g_{i\eta}$ - активация i -слоя нейронов; g_{h_2} - активация во втором слое нейронов.

Веса нейронной сети в процессе обучения корректируются по следующей формуле:

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) - k \frac{d\Phi(n)}{dw_{ij}}, \quad (6)$$

где k - коэффициент скорости обучения.

Если ошибка, обучения нейронных сетей превышает заданную точность, то нейронные сети дообучаются. После этого проводится анализ точности нейроидентификации с прогнозом, и по идентифицируемым статическим и динамическим характеристикам, вычисляются параметры плазмы.

3. Практическая реализация

Предложенный метод нейроидентификации характеристик низкотемпературной ионизированной плазмы с использованием ансамбля нейронных сетей с нечеткой логикой был реализован в электровакуумной установке МАП-3 для ионно-плазменного напыления деталей газотурбинных двигателей авиационно-космической техники рис. 3.

Технологические параметры, определяющие качество напыления ионно-плазменной дуги, зависят от напряжения, тока, давления в установке МАП – 3. Напряжение, ток, давление идентифицируются и прогнозируются системой управления (рис. 3).

Рис. 3. Система управления для нейроидентификации с нейропрогнозом тока, напряжения, давления плазмы

Работа нейроидентификаторов описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Y_0 Z^{-1}, Y_2 = Y_0 Z^{-2}, Y_3 = Y_0 Z^{-3}, Y_4 = Y_0 Z^{-4}, Y_5 = Y_0 Z^{-5}, \\
 E_1 &= X_0 W_{11} + Y_0 W_{12} + Y_1 W_{13} + Y_2 W_{14} + Y_3 W_{15} + Y_4 W_{16} + Y_5 W_{17} + B_1, \\
 E_2 &= X_0 W_{21} + Y_0 W_{22} + Y_1 W_{23} + Y_2 W_{24} + Y_3 W_{25} + Y_4 W_{26} + Y_5 W_{27} + B_2, \\
 E_3 &= X_0 W_{31} + Y_0 W_{32} + Y_1 W_{33} + Y_2 W_{34} + Y_3 W_{35} + Y_4 W_{36} + Y_5 W_{37} + B_3, \\
 E_4 &= X_0 W_{41} + Y_0 W_{42} + Y_1 W_{43} + Y_2 W_{44} + Y_3 W_{45} + Y_4 W_{46} + Y_5 W_{47} + B_4, \\
 E_5 &= X_0 W_{51} + Y_0 W_{52} + Y_1 W_{53} + Y_2 W_{54} + Y_3 W_{55} + Y_4 W_{56} + Y_5 W_{57} + B_5, \\
 E_6 &= X_0 W_{61} + Y_0 W_{62} + Y_1 W_{63} + Y_2 W_{64} + Y_3 W_{65} + Y_4 W_{66} + Y_5 W_{67} + B_6, \\
 E_7 &= X_0 W_{71} + Y_0 W_{72} + Y_1 W_{73} + Y_2 W_{74} + Y_3 W_{75} + Y_4 W_{76} + Y_5 W_{77} + B_7, \\
 E_8 &= X_0 W_{81} + Y_0 W_{82} + Y_1 W_{83} + Y_2 W_{84} + Y_3 W_{85} + Y_4 W_{86} + Y_5 W_{87} + B_8, \\
 E_9 &= X_0 W_{91} + Y_0 W_{92} + Y_1 W_{93} + Y_2 W_{94} + Y_3 W_{95} + Y_4 W_{96} + Y_5 W_{97} + B_9, \\
 E_{10} &= X_0 W_{101} + Y_0 W_{102} + Y_1 W_{103} + Y_2 W_{104} + Y_3 W_{105} + Y_4 W_{106} + Y_5 W_{107} + B_{10}, \\
 E_{11} &= X_0 W_{111} + Y_0 W_{112} + Y_1 W_{113} + Y_2 W_{114} + Y_3 W_{115} + Y_4 W_{116} + Y_5 W_{117} + B_{11}, \\
 E_{12} &= X_0 W_{121} + Y_0 W_{122} + Y_1 W_{123} + Y_2 W_{124} + Y_3 W_{125} + Y_4 W_{126} + Y_5 W_{127} + B_{12}, \\
 E_{13} &= X_0 W_{131} + Y_0 W_{132} + Y_1 W_{133} + Y_2 W_{134} + Y_3 W_{135} + Y_4 W_{136} + Y_5 W_{137} + B_{13}, \\
 E_{14} &= X_0 W_{141} + Y_0 W_{142} + Y_1 W_{143} + Y_2 W_{144} + Y_3 W_{145} + Y_4 W_{146} + Y_5 W_{147} + B_{14}, \\
 E_{15} &= X_0 W_{151} + Y_0 W_{152} + Y_1 W_{153} + Y_2 W_{154} + Y_3 W_{155} + Y_4 W_{156} + Y_5 W_{157} + B_{15}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \tan \operatorname{sig}(E_1), \\
 R_2 &= \tan \operatorname{sig}(E_2), \\
 R_3 &= \tan \operatorname{sig}(E_3), \\
 R_4 &= \tan \operatorname{sig}(E_4), \\
 R_5 &= \tan \operatorname{sig}(E_5), \\
 R_6 &= \tan \operatorname{sig}(E_6), \\
 R_7 &= \tan \operatorname{sig}(E_7), \\
 R_8 &= \tan \operatorname{sig}(E_8), \\
 R_9 &= \tan \operatorname{sig}(E_9), \\
 R_{10} &= \tan \operatorname{sig}(E_{10}), \\
 R_{11} &= \tan \operatorname{sig}(E_{11}), \\
 R_{12} &= \tan \operatorname{sig}(E_{12}), \\
 R_{13} &= \tan \operatorname{sig}(E_{13}), \\
 R_{14} &= \tan \operatorname{sig}(E_{14}), \\
 R_{15} &= \tan \operatorname{sig}(E_{15}), \\
 Y'_0 &= R_1 W'_1 + \dots + W'_{15} R_{15},
 \end{aligned} \tag{4}$$

где Y_0 - выходной сигнал нейронной сети; $Y_1, \dots, Y_5$ - входные сигналы нейронной сети, задержанные на один, два, пять тактов; $E_1, \dots, E_{15}$ - выходные сигналы первого слоя нейронов; $W_{11}, \dots, W_{157}$ - веса первого слоя нейронов; $B_1, \dots, B_{15}$ - смещения первого слоя нейронов; $R_1, \dots, R_{15}$ - сигналы на выходе блоков активации первого слоя нейронов; Y'_0 - сигнал на выходе второго слоя нейронов; $W'_1, \dots, W'_{15}$ - веса второго слоя нейронов; B'_1 - смещение второго слоя нейронов. На входы нейронной сети подается $X(z)$ сигнал управления и n значений сигналов с выхода $Y(z)$. Величина n определяется порядком

системы дифференциальных уравнений, которые описывают физические процессы в ионизированной плазме. При этом используются два элемента входного вектора: текущего выхода $Y(t)$ и задержанных выходов $Y(t-1) \dots Y(t-5)$. Процедура идентификации заключается в настройке весовых коэффициентов нейронных сетей.

Обучение нейронной сети проводилось в среде МАТЛАБ. В результате обучения нейронной сети были получены следующие веса и смещения (параметры нейронной сети).

$W_{11} - W_{115}$				
-0.0332	1.8577	0.0026	0.0628	0.1394
0.0107	-1.8357	0.0585	0.0054	0.0611
0.0376	1.8258	0.0677	0.0208	0.0854
0.2715	0.8351	0.2787	0.2107	0.3163
0.2773	-1.8461	0.2933	0.3666	0.3070
0.0524	-1.1198	0.0112	0.0862	0.0883
-0.0342	0.3042	-0.0062	-0.0902	-0.1915
-0.1489	1.5099	-0.1224	-0.2103	-0.2753
0.0140	1.8319	0.0200	-0.0153	0.0089
-0.0197	-2.4320	0.0213	-0.0441	-0.0493
-0.1638	1.8634	-0.1387	-0.1638	-0.0516
0.0321	2.5134	-0.0231	-0.0007	0.0027
-0.0038	-0.1337	-0.0130	-0.0096	-0.0497
0.0010	1.5069	-0.0171	-0.0170	-0.0131
$W'_1 - W'_{15}$				
0.3625	-0.2881	-0.1587	0.2882	0.6271
0.7889	0.0384	-0.7588	-0.6995	-0.3656
0.5599	-0.3757	0.6532	-0.5542	0.9053

$B_1 - B_{15}$							
-9.4395	-7.6703	7.9098	-9.0594	-4.9546	8.1967	5.6683	-3.6238
8.3500	-4.1453	7.4073	-9.1988	-8.2138	-6.4411	1.0416	-
$B'_1 = 0.1903$							

На рис. 4,5,6,7,8,9,10,11,12 представлены результаты нейроидентификации характеристик ионизированной плазмы: тока, напряжения, давления.

Рис. 4. Давление ионизированной плазмы

Рис.5. Ошибка обучения нейроидентификатора давления

Рис.6. Нейроидентификация давления ионизированной плазмы МАП-3

Рис. 7. Напряжение ионизированной плазмы

Рис. 8. Ошибка обучения идентификатора напряжения

Рис.9. Нейроиентификация напряжения ионизированной плазмы

Рис.10. Ток в установке МАП-3 при ионно-плазменном напылении

Рис. 11. Ошибка обучения идентификатора тока

Рис. 12. Нейроидентификация тока ионизированной плазмы

На рис. 13 изображена структурная схема системы нейроидентификации с нейропрогнозом тока, напряжения, давления в ионно-плазменной установке МАП-3.

Рис. 13. Система нейроидентификации с нейропрогнозом тока, напряжения, давления в ионно-плазменной установке МАП-3

4. Выводы

Внедрение метода нейроматематической прогнозируемой идентификации характеристик низкотемпературной ионизированной плазмы с использованием ансамбля нейронных сетей с нечеткой логикой для ионно-плазменной установки МАП-3 при напылении расплавленных высокотемпературных металлов для лопаток авиационных двигателей в ВИАМе (рис.14) позволила повысить точность идентификации напряжения, тока, давления [4,5,6].

1. Буянкин В.М. Применение нейронных сетей для управления "Нейросетевые методы повышения эффективности систем управления сложными элементами электротехнических установок" Издание LAMBERN Academic Publishing Germany, 2011г 265с.
2. Буянкин В.М. Нейроидентификация характеристик установки с ионно-плазменным напылением для нанесения жаростойких покрытий. 51-я научная конференция МФТИ "Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук". 2008 г.
3. Буянкин В.М. Нейроидентификация физических процессов при ионно-плазменном напылении (Приложения информатики в медицине, технике, экономике, и в естественных и гуманитарных науках). "Научно-техническая конференция Нейроинформатика- 2009" МИФИ.
4. Буянкин В.М. Нейроидентификация характеристик установки с ионно-плазменным напылением для нанесения жаростойких покрытий. Всероссийская научно-техническая конференция "Машиностроительные технологии" 2008 г. МГТУ им. Н.Э.Баумана
5. Буянкин В.М., Смирнов В.В. Нейроуправление ионизированной плазмой при технологических напылениях. Восьмая международная научная конференция "Нейросетевые технологии и их применение НСТП-2009". Донбасская государственная машиностроительная академия.
6. Буянкин В.М. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: "Нейросетевые методы повышения точности систем управления техническими объектами с нелинейными нечеткими характеристиками", Москва 2013г.
7. Проектирование элементов искусственного интеллекта для управления электроприводом, нейрорегуляторы 273-274 с. XVII Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. – М: МГПИУ, 2019. – 472 с
8. V Buyankin . The syntheses of the system of ill-defined management for irradiation of current sidebar electric drive neuroregulator. International Federation of Automatic Control. IFAC Workshop Adaptation and Learning in Control and Signal Processing.(ALCOSP 2007) Saint Petersburg, Russia.
9. V Buyankin. Neuroprotection and Timely Troubleshooting of Electric Drive Equipment. Advances in Systems Science and Applications, [s.l.], v.18, n / 1, p. 132-141, may 2018. ISSN 1078-6236. Available at: <http://ijassa.ipu.ru/ojs/ijassa/article/view/573>. Date accessed: 25 may 2018. doi: <http://doi.org/10.25728/assa.2018.18.1.573>.

Буянкин В.М.

Проектирование элементов искусственного интеллекта на базе прогнозирующей нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки для нейродиагностики работы электропривода

*МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-04-2020-23

idsp: ljjournal-04-2020-23

Аннотация

В статье рассмотрены традиционные методы диагностики по анализу частотных и фазовременных характеристик, анализу спектральных характеристик для диагностики

Рассматривается пример проектирования элементов искусственного интеллекта на базе прогнозирующей нейронной сети с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Разработана система