УДК 621.396

Распознавание последовательностей динамического хаоса обучаемой системой Лоренца дробного порядка

Н.А. Харковчук, В.В. Перепеловский.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Рассмотрены нелокально-связанные нелинейные осцилляторы дробного порядка в режиме динамического хаоса. Показана возможность «обучения» нелинейной системы основанной на осцилляторе Лоренца дробного порядка (СЛД). Под обучением понимается зависимость повторного отклика СЛД от первоначального воздействия на систему. Обнаружена способность «обученной» СЛД распознавать отдельные последовательности динамического хаоса (ПДХ) по принципу “Свой – Чужой”. Под «чужим» понимается сигнал отличный от обучающего, первоначального сигнала, именуемого «своим».

Ключевые слова: уравнения Лоренца дробного порядка, локальная связь, детерминированный хаос, нелинейные осцилляторы.

Введение

Динамический хаос — одно из перспективных направлений научных исследований. Хаотические последовательности имеют широкую область применения во многих инженерно-ориентированных областях, включая нелинейные схемы, безопасную связь, лазеры и многое другое [1-3]. В последнее время большое внимание уделяется хаотическим системам, использующим интегро-дифференциальные операторы дробного порядка [4]. Хаотические системы дробного порядка обладают “длинной памятью”, в отличии от стандартных хаотических систем и, следовательно, позволяют моделировать поведение хаотической системы при различной “длине памяти”. Рассмотрим систему из двух связанных нелинейных дифференциальных уравнений связанных диссипативной связью ξ : система (1)-ведущая, система (2)-ведомая [5].

$$\begin{aligned} \frac{d^\alpha x}{dt^\alpha} &= s_1(y_1 - x_1) \\ \frac{d^\alpha y}{dt^\alpha} &= x_1(r_1 - z_1) - y_1 \\ \frac{d^\alpha z}{dt^\alpha} &= x_1 y_1 - z_1 b_1, \end{aligned} \tag{1}$$

где: x_1, y_1, z_1,- решения ведущей системы, σ_1=10, b_1=8/3, и r_1 параметры ведущей системы α=0.85- значение дробной производной.

$$\frac{d^\alpha x}{dt^\alpha} = s_2(y_2 - x_2) + \xi(x_1 - x_2)$$
$$\frac{d^\alpha y}{dt^\alpha} = x_2(r_2 - z_2) - y_2 + \xi(y_1 - y_2) \qquad (2)$$
$$\frac{d^\alpha z}{dt^\alpha} = x_2 y_2 - z_2 b_2 + \xi(z_1 - z_2),$$

где x_2, y_2, z_2,- решения ведомой системы, σ_2=12, b_2=4, и r_2 параметры ведомой системы, ξ - коэффициент диссипативной связи между ведомой и ведущими системами.

Идентификация хаотических последовательностей

В данной работе рассматривается "обучение" СЛД с последующим распознаванием отдельных динамических последовательностей. Алгоритм можно разбить на несколько этапов. На первом этапе, этапе "обучения", происходит взаимодействием ведущей СЛД (1) с ведомой СЛД (2) ($\xi \neq 0$ - коэффициент диссипативной связи). На промежуточном этапе ведомая СЛД (2) ($\xi = 0$) теряет связь с ведущей СЛД (1). На втором этапе, этапе распознавания, реализуется взаимодействие между ведомой СЛД (2) ($\xi \neq 0$) и новой ведущей системой СЛД (1). Если параметры ведущей системы остаются первоначальными, ведомая система распознает ведущую как "свою". Если параметры ведущей системы отличаются от первоначальных параметров, ведомая система распознает ведущую как "чужую".

Критерием распознания отдельных хаотических последовательностей является значение дисперсии DE (3).

$$\mathrm{DE}=\sqrt{\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}(\mathrm{E_i}-\overline{\mathrm{E}})^2}\,, \qquad (3)$$

где:

$$\mathrm{E}=\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2+(z_1-z_2)^2}, \qquad (4)$$

N-объём выборки этапа обучения и распознавания, $\mathrm{E_i}$-i-й элемент выборки E, $\overline{\mathrm{E}}$-среднее арифметическое E.

Если DE_1 при "обучении" (первый этап) больше DE_2 при распознавании (второй этап) то система распознают хаотическую последовательность как "свою". Следовательно, хаотические последовательности в процессе обучения и в процессе распознавания одинаковые $\Delta D>0$ (5).

$$\Delta D = DE1 - DE2\,, \qquad (5)$$

Если DE при "обучении" меньше, чем DE при распознавании, то система распознает хаотическую последовательность как "чужую". Следовательно, хаотические последовательность в процессе обучения и в процессе распознавания были различны $\Delta D<0$ (5).

Результаты численного моделирования

На рисунке 1 представлен алгоритм и результат распознавания "своей" последовательности динамического хаоса. Все параметры обучающей (ведущей) и тестируемой хаотической последовательности (новой ведущей) одинаковы. Как видно из рис. 1 $\Delta D>0$, что соответствует распознаванию последовательности как "своей".

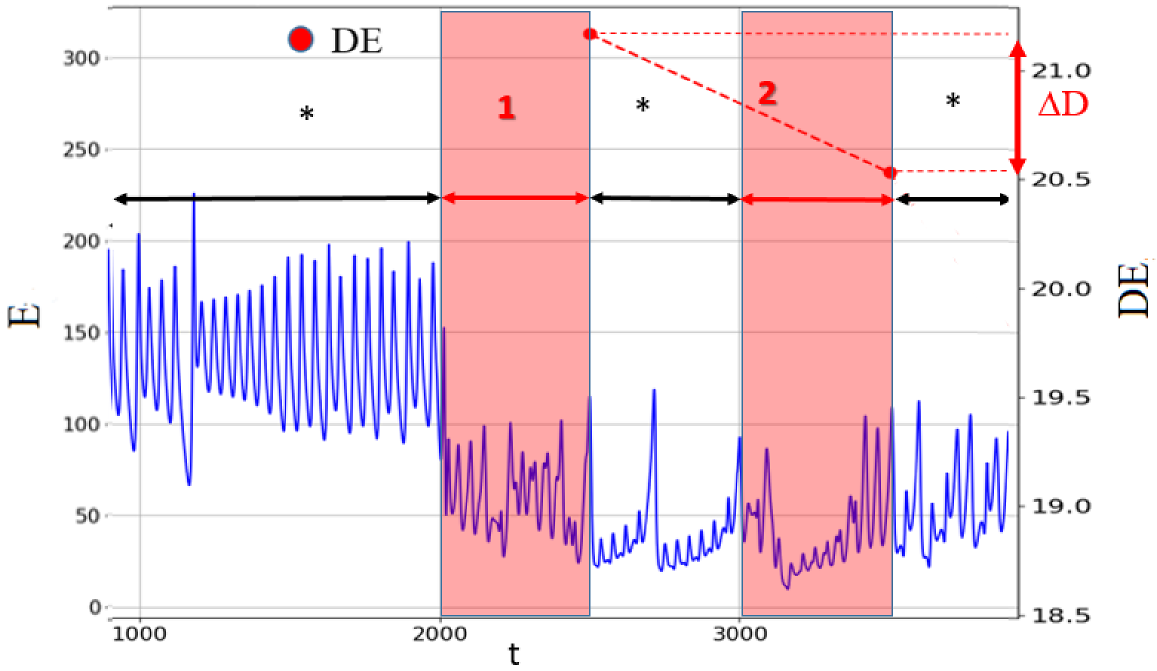

Рисунок 1. Распознание “своей” последовательности динамического хаоса. *- этапы не связанных системы. 1- обучение, 2- распознавание, E (4), DE (3), ΔD>0 (5).

На рисунке 2 представлен алгоритм и результат распознавания “чужой” последовательности динамического хаоса. Параметры обучающей (ведущей) и тестируемой хаотической последовательности (новой ведущей) различны. Как видно из рис. 2 ΔD <0, что соответствует распознаванию последовательности как “чужой”.

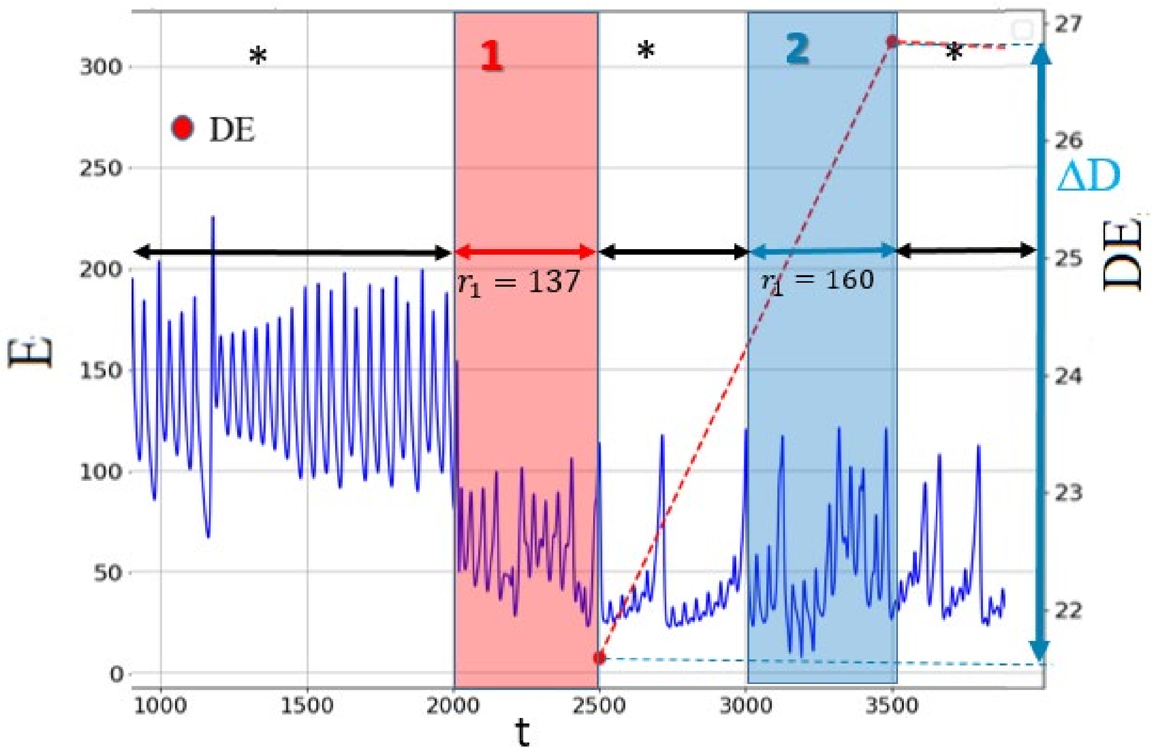

Рисунок 2. Распознавание “чужой” последовательности динамического хаоса. *- этапы не связанных системы. 1- обучение, 2- распознавание, E (4), DE (3), ΔD <0 (5).

Заключение

Реализована система, на основе “обучения” осциллятора Лоренца дробного порядка, позволяющая распознавать отдельные хаотические последовательности по принципу “свой – чужой”. Высокая обучаемость достигается только для небольшого набора параметров ведущей и ведомой системы.

Список литературы:

1. Гуляев Ю. В. и др. Информационные технологии на основе динамического хаоса для передачи, обработки, хранения и защиты информации //Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48. – №. 10. – С. 1157-1185.
2. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow //Journal of atmospheric sciences. – 1963. – Т. 20. – №. 2. – С. 130-141.
3. Sprott J. C. Chaos and Time-Series Analysis. Oxford: Oxford University Press, 2003. 507 p
4. Xiong P. Y. et al. Spectral entropy analysis and synchronization of a multi-stable fractional-order chaotic system using a novel neural network-based chattering-free sliding mode technique //Chaos, Solitons & Fractals. – 2021. – Т. 144. – С. 110576.
5. Гордиенко М. А., Ралдугина Э. А., Перепеловский В. В. Волновые процессы в нелокально-связанных ансамблях нелинейных осцилляторов дробного порядка //Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2021. – Т. 1. – С. 572-576.