

Разрушение автоволновых структур под действием шума в решетке связанных дискретных моделей нейронов*

Е. В. Рыбалова, В. С. Анищенко

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
✉ rybalovaev@gmail.com

Проблема формирования пространственно-временных структур в активных нелинейных средах и их моделях на протяжении долгих лет продолжает оставаться актуальной [1, 2]. Предметом исследований в настоящей работе являются автоволновые структуры в виде спиральных и концентрических волн, которые можно получить в решетке локально связанных дискретных осцилляторов Рулькова [3]. Исследуется реакция автоволновых структур в двумерной решетке на шумовое возмещение. Шумовое воздействие задается в виде подачи шума на квадрат из относительно малого числа осцилляторов в центре решетки.

В работе изучается динамика двумерного ансамбля, представляющего собой сеть локально связанных отображений:

$$\begin{aligned} x_{i,j}^{t+1} &= f_x(x_{i,j}^t, y_{i,j}^t) + \sqrt{2D_x} \xi_{i,j}^t, \\ y_{i,j}^{t+1} &= f_y(x_{i,j}^t, y_{i,j}^t) + \frac{\sigma_y}{B_{i,j}} \sum_{m,n} [f_y(x_{m,n}^t, y_{m,n}^t) - f_y(x_{i,j}^t, y_{i,j}^t)], \end{aligned} \quad (1)$$

где f_x и f_y – правые части отображения, $\sigma_y = 0.8$ – сила связи между элементами. Двойные индексы динамических переменных $x_{i,j}$ и $y_{i,j}$ ($i, j = 1, 2, 3, \dots, N$) характеризуют положение элемента на двумерной решетке. $N = 200$ – размер решетки по x и y . Коэффициент D_x отвечает за интенсивность аддитивного шума, $\xi_{i,j}^t$ – генератор шума с нормальным распределением (с нулевым средним и единичным отклонением). Суммирование в слагаемом связи (второе слагаемое во втором уравнение (1)) ведется по индексам, удовлетворяющим условию (2). $B_{i,j}$ – количество элементов, с которыми связан каждый i -ый осциллятор, т.е. количество элементов удовлетворяющее следующим условиям:

$$\begin{cases} \max(1, i-1) \leq m \leq \min(N, i+1), \\ \max(1, j-1) \leq n \leq \min(N, j+1), \quad m \neq n. \end{cases} \quad (2)$$

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта No. 20-12-00119.

В качестве парциальных элементов сети были выбраны дискретные осцилляторы Рутькова, описывающие динамику нейронов [4]:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \alpha/(1 - x_n) + y_n, & x \leq 0 \\ \alpha + y_n, & 0 < x < \alpha + y, \\ -1, & x \geq \alpha + y, \end{cases} \quad (3)$$
$$y_{n+1} = y_n - \mu(x_n + 1) + \mu\sigma,$$

где первое уравнение отвечает за быструю динамическую переменную, а второе – ответственно за медленную.

В ходе исследования было установлено, что при различных значениях интенсивности шума и размере области воздействия на спиральные волны, система может перейти в режим концентрических волн и оставаться в нем до отключения шума. Рассмотрено влияние аддитивного гауссова шума на концентрические волны. В отличие от спиральных волн, в случае концентрических волн необходимы большая область воздействия или более сильная интенсивность шума, чтобы вызвать переходы в начальной структуре решетки. Установлено, что в данном случае после отключения внешнего шумового воздействия, в решетке продолжает существовать режим, возникший под воздействием шума. Так, например, установившийся под действием шума режим химерной структуры остается и после отключения источника шума.

Список литературы

1. *Kuramoto Y.* Chemical Oscillations, Waves and Turbulence. Springer, Berlin, 1984.
2. *Nekorkin V., Velarde M. G.* Synergetic phenomena in active lattices: patterns, waves, solitons, chaos. Springer Science & Business Media, 2002.
3. *Rybalova E., Bukh A., Strelkova G., Anishchenko V.* Spiral and target wave chimeras in a 2D lattice of map-based neuron models // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science.* 2019. Vol. 29, iss. 10. P. 101104.
4. *Rulkov N. F.* Modeling of spiking-bursting neural behavior using two-dimensional map // *Physical Review E.* 2002. Vol. 65, iss. 4. P. 041922.