

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ С ДИССИПАЦИЯМИ ЭНЕРГИИ

Организм человека представляет собой сложную многоуровневую систему, управление в которой осуществляется путем передачи импульсов от сложных систем высшего порядка к простым системам или уровням низшего порядка. Таким образом, четко слаженная работа всех звеньев такой системы организма позволяет судить об истинном здоровье человека. Показано, что на большой накопленный опыт за последние 30 лет в настоящее время еще продолжается активное накопление все новых экспериментальных материалов, позволяющие создавать новые алгоритмы.

При исследовании органов человека используются сигналы электро-кожной активности, запись биопотенциалов работающего организма. Данный метод является нетравматичным методом медицинской диагностики, не наносит вреда организму и не вызывает неприятных ощущений у человека, в следствии чего имеет широкое распространение. Рассмотрена модель самоорганизованной критичности с диссипациями энергии и разработан метод выделения признаков на основе модели для систем определения функционального состояния организма. Основные результаты в области исследования самоорганизованной критичности (СОК) получены с использованием компьютерного моделирования. Состояние элемента с координатами (x,y) в момент времени n характеризуется энергией $Z(x,y)$. Если эта величина не превышает некий критический уровень Z_c , элемент считается устойчивым; в противном случае элемент переходит в возбуждённое состояние и в следующий момент времени $n+1$ отдаёт по единице энергии четырем окружающим его элементам:

$$Z_{n+1}(x,y)=Z_n(x,y)+1; \quad Z_n < Z_c, \quad (1)$$

$$Z_{n+1}(x,y)=Z_n(x,y)-4, \quad Z_n > Z_c, \quad (2)$$

$$Z_{n+1}(x+1,y+1)=Z_n(x+1,y+1)+1; Z < Z_c. \quad (3)$$

Таким образом, в системе действует закон локального сохранения энергии, передача которой от элемента к элементу протекает по нелинейному механизму. Правило перехода (3) несколько модифицируется на границах системы, где одна или обе координаты принимают значение 1 или N. Связь системы с внешней средой осуществляется за счет регулярного добавления в элементы массива единичных квантов энергии по правилу:

$$Z_{n+1}(x,y)=Z_n(x,y)+1. \quad (4)$$

Известно, что модель СОК при определенных изменениях алгоритма может демонстрировать неустойчивости двух видов: субкритичность и суперкритичность. Были изучены оба этих состояния в численном эксперименте на массиве элементов размером 50×50 с целью выяснения различий характера флуктуации от нормы.

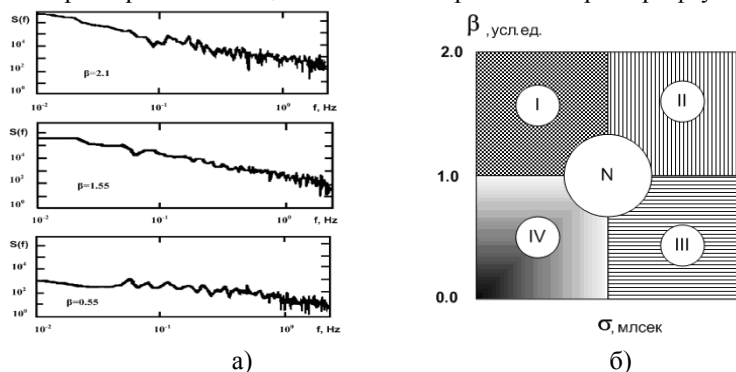


Рисунок 1. Спектральные плотности мощности флуктуации двумерной модели СОК (а) и плоскость состояний стохастического гомеостаза (б)

Состояние субкритичности было реализовано за счет создания условий искусственной диссипации части энергии. Предположим, что правило передачи энергии (3) действует для многих, но не всех элементов системы. Некоторые из них при переходе в возбужденное состояние теряют четыре единицы энергии, а передают соседним элементам три. Один квант энергии в этом процессе "исчезает". Незначительной коррекцией граничных условий можно добиться того, чтобы суммарное количество энергии в системе оставалось стационарным, подобно тому, как это происходит в состоянии СОК. Показатель β в спектре $1/f^\beta$, генерируемого моделью в рассматриваемом режиме, снижается (рисунок 1.а). В пределе "чистой" субкритичности β стремится к нулю, что соответствует полной функциональной дезинтеграции системы. Таким образом, развиваемые представления об эффекте СОК, рассматриваемые в качестве объяснения механизма биологических $1/f$ -флуктуаций, дают возможность интерпретации результатов. Показано, что они приводят к значительному сокращению времени анализа и позволяют с вероятностью правильного обнаружения не менее 98% классифицировать вид сигналов или норму и выработать рекомендации.

Разработана модель стохастического гомеостаза на основе дискретных клеточных автоматов. Модель исследована как в состоянии нормы, так и при её нарушениях. Доказана адекватность модели процессам формирования электрокожной активности.