

Обработка сигналов, генерируемых в эколого-биологических системах – одна из наиболее распространенных задач в экологии, медицине, биомоделировании. Для этих систем характерна ситуация, когда анализируемый сигнал является результатом множества локальных взаимодействий без центрального механизма управления. Системы, обладающие такими свойствами, называются *самоорганизующимися системами*, и изучаются теорией *сложных систем*.

Сложная система может быть определена как совокупность большого количества дискретных элементов, которые нетривиальным образом связаны между собой. Существование взаимодействий между отдельными элементами определяет возникновение в системе результирующего сигнала, при отсутствии централизованного управляющего механизма. Такие явления называются *сложным поведением*. Примерами сложных систем являются нейронная сеть, биологическая популяция, многоклеточный организм.

В течение последнего десятилетия активно развивается новое направление обработки сигналов, возникающих в таких системах – индивидуум-ориентированная обработка (от англ. individual-based processing). Суть этого подхода в следующем. Строится дискретная модель системы, генерирующей анализируемый сигнал. Эта модель состоит из набора дискретных элементов, для которых заданы правила локального взаимодействия. Элементы могут представлять отдельные нейроны, организмы в экосистемах, клетки организма. Модель обычно состоит из описания среды, в которой происходят взаимодействия, и некоторого количества элементов, для которых определены правила поведения и характеристические параметры. Далее, характеристические параметры отдельных элементов отслеживаются в течение итерационной процедуры моделирования (представляющей собой течение времени). Модельный сигнал получается как интегральная характеристика модели (интегрирование идет по всем элементам модели).

Особенность эколого-биологических систем состоит в том, что очень часто одна и та же система в разных условиях способна генерировать сигналы самой разнообразной структуры – линейные, квазипериодические, циклические, хаотические. Характерным примером такой системы является биологическая популяция. Одна и та же популяция может функционировать в различных динамических режимах. Несмотря на такое динамическое разнообразие результирующего сигнала, поведенческие правила, которым подчиняются отдельные элементы системы, остаются неизменными. Именно поэтому применение индивидуум-ориентированных подходов привлекательно для таких систем. Действительно, дискретная модель строится исходя из поведенческих правил, которые остаются неизменными в разных режимах, и к тому же обычно хорошо изучены. Это позволяет в рамках одного метода анализировать сигналы существенно различной структуры.

Недостатком индивидуум-ориентированной обработки является сложность процедуры настройки модели. В реальных системах число поведенческих правил измеряется десятками, соответственно в модели фигурируют десятки уравнений со своими параметрами, что существенно затрудняет настройку. Автором предложен подход, который позволяет свести к минимуму число свободных параметров модели, и тем самым упростить процедуру разработки и настройки модели.

Все процессы, протекающие в природе, есть потоки вещества, энергии, и информации. При этом наблюдаются взаимные преобразования вещества и энергии. Поведенческие правила, формулируемые в индивидуум-ориентированных моделях, описывают эти потоки и преобразования. Но при этом потоки вещества и энергии не являются независимыми. Хорошо известны законы, по которым происходит преобразование вещества в энергию и обратно. Предлагаемый подход заключается в том, чтобы перейти к единому энергетическому описанию процессов. То есть параметры элементов модели, описывающие вещество, измеряются в единицах энергии. Пересчет одних единиц в другие – чисто техническая задача, не представляющая принципиальной сложности. Это позволяет сократить число свободных параметров модели, и давать обоснованные оценки численных значений параметров, что упрощает процедуру настройки модели, и анализа сигнала. Предложенный подход был успешно применен для решения практически интересных задач в области исследования биологических популяций.



INDIVIDUAL-BASED METHODS OF SIGNAL PROCESSING IN ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL SYSTEMS

Sorokin P.

MIPT, Dolgoprudny , Russia

The signal processing in ecological and biological system is a frequent task in ecology, medicine and biological modeling. The situation when signal is a result of a great number of local interactions without central mechanism of control. The systems of this kind are called *self-organizing* and are studied by the theory of *complex systems*.

The *complex system* is composed by large number of discrete elements, interacting with each other in non-trivial way. The existence of interactions between single elements results in signal, with central control mechanism being absent. The phenomena of this kind are called *complex behavior*. The examples of complex systems are neural net, biological population, multi-cell organism.

The individual-based processing is developed to process signals in such systems. The discrete model of the system generating the signal is developed. The model is a set of elements with characteristic parameters and rules for their local interactions defined. Элементы могут представлять отдельные нейроны, организмы в экосистемах, клетки организма. The characteristic parameters of elements are traced during the iterations of the model (that represent the time). The model signal is an integral characteristic of the model.

A common case for ecological and biological system is that one system can generate signals of various structures - linear, quasi-periodic, cyclic, chaotic. The characteristic example of such system is biological population. In spite of dynamical variety of resulting signal, the behavioral rules for elements remain unchanged. That's why the application of individual-based processing approaches is attractive to these systems. It allow processing signals of significantly different structure within the framework of one method.

The flaw of this approach is the complexity of model adjustment. The number of model parameters can be very large. The author developed the approach which allow to minimize the number of model parameters. All processes in nature are flows of substance, energy and information. The behavioral rules describe these flows. The suggested approach is in using the energy-based description of substance transformations. This means that all parameters describing substance are measured in energy units. This allow to minimize the number of model parameters, and to make motivated estimates of parameters values. The suggested approach was successfully applied to solve tasks of biological populations exploration, arising in practice.