

## Н.Г. МАКАРЕНКО

Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН, Санкт-Петербург;  
Институт Информационных и Вычислительных Технологий МОН РК, Алматы.  
ng-makar@mail.ru

### МОДЕЛИ И ИХ ОШИБКИ В ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ\*

Рассматривается проблема реконструкции нелинейного предиктора из временных рядов алгоритмом Такенса. Ошибки предсказания порождаются неудачным топологическим вложением, скрытыми параметрами и шумами данных. Аппроксимация нелинейного предиктора делается обычно с помощью ИНС, которая обучается примерам по конечной обучающей выборке с квадратичным функционалом ошибок. Эта некорректная задача дает «букет» возможных сценариев будущего. Для выбора «реального» варианта можно использовать второй функционал, основанный на MDL принципе. В работе обсуждаются возможности и ограничения описанной схемы.

The problem of reconstructing a nonlinear predictor from time series by embedology methods is considered. Prediction errors are produced by non-optimal embedding, hidden predictor parameters and experimental noise. For the numerical implementation of a nonlinear predictor, an ANN approximation with a quadratic error functional based on a finite training sample is used. This incorrect task leads to a “bouquet” of possible future scenarios. To choose the most realistic of them, you can use the second functional, based on the MLD Rissanen principle. The paper discusses the possibilities and limitations of the described scheme.

**Ключевые слова:** эмбедология, нелинейный прогноз, Сложность модели, MLD принцип.

Построение динамической модели непосредственно из наблюдаемых данных впервые реализовал Иоганн Кеплер в 1609 году на основе астрономических наблюдений Тихо Браге. Спустя почти 4 столетия появилась работа, где фазовая 3D динамика восстанавливалась из одной

---

\* Данная работа выполнена при частичной поддержке МОН РК, проект № APOS 134227

координаты на основе эвристических соображений[1]. Эвристика стала строгой после работы Такенса [2]. Оказалось, что некоторые общие предположения о неизвестной системе, позволяют восстановить ее аттрактор, с точностью до диффеоморфизмов, как вложение в пространство подходящей размерности по наблюдаемой проекции. системы. Эта техника получила имя эмбедологии[3]. Такое восстановление приводит к выражению для нелинейного векторного предиктора, основанного на принципе аналогов Лоренца. Относительно его деталей известно, лишь, что он описывается нелинейным гладким оператором, который удобно аппроксимировать с помощью ИНС, располагая достаточно богатым набором аналогов из истории ряда[4]. Если функционал ошибок квадратичный, мы получаем некорректную задачу[5]. Выбор реальной динамики из множества возможных не может быть получена с помощью того же функционала, что и сами варианты. Здесь полезны общие принципы выбора хорошей модели, типа бритвы Оккамы. Наиболее удачный вариант был предложен Риссаненом [6]. Это тезис, который утверждает, что длина описания модели в машинных кодах и данных, интерпретируемых моделью, имеет минимум. Этот принцип дает второй функционал, полезный для выбора по меньшей мере квазилинейных моделей. Второй эвристический принцип основан на улучшении первоначального прогноза, с помощью простой ИНС модели[7]. В работе обсуждаются недостатки и преимущества эвристических принципов «хорошей» модели.

#### *Список литературы*

1. Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. Geometry from a time series // Phys. Rev. Lett. 1980. Vol. 45. P. 712-716.
2. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Lecture Notes in Math. – 1981. Vol. 898. P. 366-381.
3. Sauer T., Yorke J.A., Casdagli M. Embedology // J. Statist. Phys. 1991. Vol. 65. P. 579-616.
4. Farmer J.D., Sidorovich J.J. Predicting chaotic time series // Phys. Rev. Lett. 1987. Vol. 59. P. 845-848.
5. Макаренко Н.Г. Эмбедология и нейропрогноз // Лекции по нейроинформатике, ч. 1, Нейроинформатика-2003, V Всерос.научн.- тех. конф. Москва, 2003. С. 86-148.
6. Rissanen J. Hypothesis selection and testing by the MDL principle. The Computer Journal. 1999. Vol. 42, № 4. P. 260-269
7. Judd K., Small M. Towards long-term prediction // Physica D. – 2000. – Vol. 136. P. 31-44. 313.