

Реконструкция модельных уравнений сетей осцилляторов с запаздыванием в динамике узлов и связях между ними: Обзор

И.В. Сысоев^{1,2}, В.И. Пономаренко^{1,2}, М.Д. Прохоров²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: ivssci@gmail.com, pomomarenkovi@gmail.com, mdprokhorov@yandex.ru

Автор для переписки Илья Вячеславович Сысоев, ivssci@gmail.com

Поступила в редакцию 22.07.2019

Цель данного обзора – показать современный уровень исследований в области реконструкции по имеющимся временным рядам моделей сетей, в которых отдельные узлы описываются уравнениями с запаздыванием, либо запаздывание присутствует в функциях связи. В работе описаны методы восстановления коэффициентов и целиком функций связи, собственных нелинейных функций и параметров в уравнениях для отдельных узлов, подходы к выявлению лишних связей. Отдельно рассмотрены методы определения времени запаздывания, поскольку от его верного определения зависит успех всей процедуры реконструкции. Представлены результаты реконструкции по временным рядам модельных осцилляторов с различными нелинейными функциями, различными функциями связи, при вариации числа узлов в сетях в широких пределах: от трёх до нескольких десятков. Также приведены результаты реконструкции моделей по временным рядам различных радиофизических экспериментов. Обсуждаются преимущества и недостатки предложенных подходов в сравнении с другими известными в литературе методами оценки связанности, влияние длины временного ряда, объёма априорной информации о системе, шума измерений, вычислительных погрешностей на результаты реконструкции. Ключевые слова: уравнения с запаздыванием, сети связанных осцилляторов, реконструкция по временным рядам, коллективная динамика.

Образец цитирования: Сысоев И.В., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. Реконструкция модельных уравнений сетей осцилляторов с запаздыванием в динамике узлов и связях между ними: Обзор//Известия вузов. ПНД. 2019. Т. 27, № 4. С. 13–51.
<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-4-13-51>

Финансовая поддержка. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-02-00071 (реконструкция модельных уравнений сетей) и в рамках государственного задания (постановка радиофизического эксперимента).

Reconstruction of model equations of networks of oscillators with delay in node dynamics and couplings between them: Review

I. V. Sysoev^{1,2}, V. I. Ponomarenko^{1,2}, M. D. Prokhorov²

¹Saratov State University 83, Astrakhanskaya, Saratov 410012, Russia

²Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Saratov Branch 38, Zelenaya, Saratov 410019, Russia

E-mail: ivssci@gmail.com, ponomarenkovi@gmail.com, mdprokhorov@yandex.ru

Correspondence should be addressed to Ilya V. Sysoev, ivssci@gmail.com

Received 22.07.2019

The aim of this review is to show the modern level of research in the area of reconstruction of network models from measured time series, for which individual nodes are described by time-delayed equations or there is a delay in coupling. Methods are described for reconstruction of coupling coefficients and functions, nonlinear functions of individual nodes and for detection of superfluous couplings. The techniques for delay time detection are considered separately due to their choice is crucial for success of entire reconstruction procedure. There presented the results of reconstruction from times series of model oscillators with different nonlinear functions, coupling functions, with number of nodes in a networks ranging widely (from 3 to tens of nodes). In addition, the results of reconstruction of models from different radiophysical experiments are presented. The advantages and shortcomings of proposed approaches are discussed in comparison with other known from literature methods of coupling estimation. The effects of time series length, the amount of a priori information, measurement noise, calculation errors on method efficiency are considered.

Key words: time-delayed equations, networks of coupled oscillators, reconstruction from time series, collective dynamics.

Reference: Sysoev I.V., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D. Reconstruction of model equations of networks of oscillators with delay in node dynamics and couplings between them: Review. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2019, vol. 27, no. 4, pp. 13–51. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2019-27-4-13-51>

Acknowledgements. This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, grant No 19-02-00071 (reconstruction of model equations of networks) and within the framework of the state task (radiophysical experiment).