

Прогнозирование нерегулярных временных рядов на основе сетей LSTM и учета корреляции интервалов дискретизации

В.С. Минин¹, А.Ю. Пучков^{2*}, А.Е. Трубин³, Г.Н. Пролеев³

¹ООО «ВИСОМ», Смоленск, Россия

²Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

³Университет «Синергия», Москва, Россия

*putchkov63@mail.ru

Аннотация. Представлен метод прогноза нерегулярного временного ряда, интервал дискретизации которого не постоянен. Данные, представляемые в виде нерегулярных временных рядов, часто встречаются в различных областях, таких как здравоохранение, биомеханика, экономика, климатология и других. Прогнозирование нерегулярных временных рядов востребовано в указанных областях для раннего предупреждения и принятия упреждающих решений, однако универсального метода учета в прогнозе неравномерности дискретизации нет, что обуславливает актуальность исследований в этом направлении. Цель исследования состояла в разработке метода прогноза нерегулярного ряда на основе глубоких нейронных сетей, позволяющего обеспечивать хорошую точность прогноза при относительно легковесной архитектуре сети. Новизна результатов исследования заключается в разработанном методе прогноза нерегулярных временных рядов, архитектуре глубокой нейронной сети, а также в алгоритме, реализующем предложенный метод прогноза. В методе применен закрытый цикл, при котором результаты прогноза на текущем шаге используются на последующих шагах. Особенность предложенного метода прогноза заключается в применении многослойного перцептрона для прогнозирования длительности следующего интервала нерегулярной дискретизации. Этот интервал вычисляется с учетом времени корреляции, вычисляемой на основе автоковариационной функции длительностей интервалов нерегулярной дискретизации. Отличительной чертой предложенной архитектуры служит наличие отдельного входного канала данных нейронной сети для анализа величин интервалов дискретизации, что позволяет прогнозировать следующее значение ряда с учетом длительности прогнозируемого интервала дискретизации. Метод разработан для одномерного ряда, однако может быть расширен и на случай многомерных рядов при условии синхронности дискретизации компонент ряда. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что при малых требованиях к вычислительным ресурсам точность прогноза на основе предложенного метода сопоставима с современными прогнозными моделями в пределах интервала корреляции.

Ключевые слова: прогнозирование нерегулярных временных рядов, глубокие искусственные нейронные сети, автоковариационная функция интервалов дискретизации временного ряда

Для цитирования: Минин В.С., Пучков А.Ю., Трубин А.Е., Пролеев Г.Н. Прогнозирование нерегулярных временных рядов на основе сетей LSTM и учета корреляции интервалов дискретизации // Прикладная информатика. 2025. Т. 20. № 5. С. 46–66. DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-5-46-66

© Минин В.С., Пучков А.Ю., Трубин А.Е., Пролеев Г.Н., 2025.

Forecasting irregular time series based on LSTM networks and accounting for sampling interval correlation

V. Minin¹, A. Puchkov^{2*}, A. Trubin³, G. Proleev³

¹VISOM LLC, Smolensk, Russia

²Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

³Synergy University, Moscow, Russia

putchkov63@mail.ru

Abstract. A method for forecasting a nonequidistant (irregular) time series with an irregular sampling interval is presented. Data presented as irregular time series are often encountered in various fields, such as healthcare, biomechanics, economics, climatology, and others. Forecasting irregular time series is in demand in these fields for early warning and proactive decision-making, but there is no universal method for taking into account the unevenness of sampling in the forecast, which determines the relevance of research in this area. The purpose of the study was to develop a method for forecasting a nonequidistant series based on deep neural networks, which allows for good forecast accuracy with a relatively lightweight network architecture. The novelty of the research results lies in the developed method for forecasting nonequidistant time series, the architecture of the deep neural network, and the algorithm that implements the proposed forecast method. The method uses a closed loop, in which the forecast results at the current step are used at the following steps. The original feature of the proposed forecasting method is the use of a multilayer perceptron to forecast the duration of the next irregular sampling interval. This interval is calculated taking into account the correlation time calculated based on the autocovariance function of the durations of irregular sampling intervals. A distinctive feature of the proposed architecture is the presence of a separate input channel of neural network data for analyzing the values of sampling intervals, which allows forecasting the next value of the series taking into account the duration of the forecasted sampling interval. The method is developed for a one-dimensional series, but it can be extended to multidimensional series if the synchronicity of the sampling of the components of the series is observed. The computational experiments showed that with low requirements for computing resources, the accuracy of the forecast based on the proposed method is comparable to modern forecast models within the correlation interval.

Keywords: forecasting irregular time series, deep artificial neural networks, autocovariance function of time series sampling intervals

For citation: Minin V., Puchkov A., Trubin A., Proleev G. Forecasting irregular time series based on LSTM networks and accounting for sampling interval correlation. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2025, vol.20, no.5, pp.46-66 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-5-46-66

© Minin V., Puchkov A., Trubin A., Proleev G., 2025.

Введение

Прогнозирование временных рядов (Time Series, TS) востребовано в широком спектре практических приложений при анализе темпоральных характеристик объектов и процессов

различной природы – технических, социально-экономических, биологических и других. Это обусловлено тем, что прогноз – критически важная задача, предоставляющая ключевую информацию для принятия решений при реализации конку-