

В результате анализа полученных результатов, установлено, что интеллектуальная система обеспечивает высокую точность и адекватность в прогнозировании полосы когерентности, демонстрируя среднюю абсолютную процентную ошибку MAPE менее 5 % и коэффициент детерминации R2 более 89 %. Это говорит о высокой эффективности этого подхода для задачи прогнозирования полосы радиоканала в максимально приближенных к реальным условиям функционирования систем связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развит метод диагностики и прогнозирования параметров широкополосных трансionoсферных радиоканалов на основе интеллектуальной системы в составе пассивных радиосенсоров ГНСС. Метод позволяет обрабатывать большой объём данных со спутников, трансформируемых по фазовым и кодовым измерениям в текущие значения ПЭС ионосферы с дальнейшим пересчётом в суточные вариации параметра дисперсии групповой задержки GDD и текущей полосы когерентности трансionoсферного радиоканала. Для задачи прогнозирования полосы когерентности в интеллектуальную систему интегрирована специальная рекуррентная нейронная RNN LSTM-сеть. Способность обучения нейронной сети на основе экспериментальных данных и адаптации системных параметров канала к реальным условиям эксплуатации делает новый подход ключевым элементом оптимизации работы инфокоммуникационных систем и повышает их эффективность.

В целом интеллектуальная система продемонстрировала высокую точность для задачи

прогнозирования с эффективными метриками средней абсолютной процентной ошибки менее 5 % при коэффициенте детерминации более 89 %.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 23-19-00145.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова Н.В. и др. Обеспечение предельной широкополосности систем спутниковой радиосвязи в условиях внутримодовой дисперсии трансionoсферных радиоканалов // Радиотехника и электроника. 2023. Т. 68, № 6. С. 571–578. DOI 10.31857/S0033849423060049, EDN XLUNDS.

Yasyukevich Y., Mylnikova A., Vesnin A. GNSS-based non-negative absolute ionosphere total electron content, its spatial gradients, time derivatives and differential code biases: Bounded-variable least-squares and Taylor series // Sensors. 2020. V. 20, N. 19. P. 1–20. DOI 10.3390/s20195702.

Shenvi N., Virani H. Forecasting of Ionospheric Total Electron Content Data Using Multivariate Deep LSTM Model for Different Latitudes and Solar Activity // J. Electrical and Computer Engineering. 2023. V. 2023. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/2855762>.

Ruwali A., Kumar A.J.S., Prakash K.B. et al. Implementation of Hybrid Deep Learning Model (LSTM-CNN) for Ionospheric TEC Forecasting Using GPS Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2021. V. 18, N 6. P. 1004–1008. DOI:10.1109/LGRS.2020.2992633.

Кислицын А.А. Комплексный подход к адаптивной компенсации дисперсионных искажений системных характеристик широкополосных трансionoсферных радиоканалов // Вестник ПГТУ Серия Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2019. № 3(43). С. 6–21.