

УДК 621.373.826

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОПИСНЫХ ЦИФР С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВУАРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Даниленко Г.О. (ИТМО), Викторов Е.А. (ИТМО), Ковалев А.В. (ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Ковалев А.В.  
(ИТМО)

**Введение.** Система резервуарных вычислений (РВ) – это вид нейронных сетей, который нелинейно преобразует входной сигнал в пространство большей размерности с целью определения основных свойств сигнала. Поскольку в основе РВ находится рекуррентная нейронная сеть, то состояние резервуара зависит от текущего входного сигнала и от предыдущего состояния самого резервуара [1]. Главными преимуществами РВ являются упрощение процесса обучения, в результате чего требуется оптимизация только выходного слоя системы [2]. В общем случае все системы РВ разделяются на пространственные и с временным запаздыванием, реализованные за счет мультиплексирования входных данных во времени [3, 4]. В настоящей работе рассматривается система, основанная на лазерном диоде с оптоэлектронной обратной связью, ранее описанная теоретически [5]. Исследована способность данной системы решать задачу распознавания рукописных цифр.

**Основная часть.** Исследуемая система РВ основана на лазерном диоде HOЛATEX DFB-1550-14DL, полоса модуляции которого составляет 1,3 ГГц, с оптоэлектронной обратной связью, состоящей из фотоприемника, двух радиочастотных усилителей и аттенюатора с управляемым коэффициентом аттенюации. Полоса пропускания петли обратной связи 10-4000 МГц, общее время задержки 26 нс. Электрический сигнал обратной связи добавляется к постоянному току накачки диода посредством устройства подачи смещения. Ввод данных в систему РВ с частотой 40 Мсимволов/с осуществляется путем модуляции тока накачки с использованием генератора произвольной формы. Число узлов в системе – 25. Считывание выполняется с помощью осциллографа, сигнал на который поступает с фотодетектора, с разрешением 4 точки на узел. Рабочий режим находится вблизи границы неустойчивости системы и подбирается в зависимости от выбранных усилителей. В данной работе решается задача распознавания прописных цифр.

Задача распознавание прописных цифр – это часто применяемая к системам машинного обучения эталонная задача. Набор данных MNIST [6] состоит из 70000 серых полутоновых изображений размером 28x28 пикселей. Для реализации подхода мультиплексирования по времени входная матрица 28x28 умножается на две маски. После преобразования подаваемое на вход резервуара фото имеет размер 25x3, т.е. ввод одного изображения в систему РВ осуществляется тремя итерациями. Для обучения используется 60000 изображений, для тестирования – 10000. Эффективность решения задачи оценивается по результатам частоты появления ошибки (WER).

Исследование выполнялось для нескольких конфигураций РВ, а именно менялись ток накачки лазера, амплитуда входного сигнала, а также сами усилители в петле обратной связи. Минимальное значение ошибки распознавания WER (word error rate) полученное после обработки данных резервуаром равняется  $WER = 37\%$ , что связывается с ограничением полосы пропускания элементов и шумами системы. В работе исследуются пути увеличения производительности системы РВ.

**Выводы.** С помощью системы резервуарных вычислений на основе полупроводникового лазера с оптоэлектронной обратной связью была решена задача распознавания прописных цифр с минимальной ошибкой  $WER = 37\%$ .

### Список использованных источников:

1. Tanaka G. и др. Recent advances in physical reservoir computing: A review //Neural

Networks. – 2019. – Т. 115. – С. 100-123

2. Lugnan A. и др. Photonic neuromorphic information processing and reservoir computing // APL Photonics. – 2020. – Т. 5. – С. 020901.

3. Larger L. и др. High-speed photonic reservoir computing using a time-delay-based architecture: Million words per second classification //Physical Review X. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 011015.

4. Appeltant L. и др. Reservoir computing based on delay-dynamical systems //These de Doctorat, Vrije Universiteit Brussel/Universitat de les Illes Balears. – 2012.

5. Danilenko G.O. и др. Impact of filtering on photonic time-delay reservoir computing // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2023. – Т. 33. – С. 013116.

6. LeCun Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition //Proceedings of the IEEE. – 1998. – Т. 86. – №. 11. – С. 2278-2324.