

УДК 621.373.826

## ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ НА СИСТЕМУ РЕЗЕРВУАРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

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

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

В работе представлены результаты моделирования системы резервуарных вычислений на основе лазера с фильтрацией сигнала оптоэлектронной обратной связи с целью определения емкости памяти и вычислительной способности системы. Введена новая метрика, связывающая расстояние между вещественной частью псевдо-непрерывного спектра собственных значений системы и емкостью памяти.

**Введение.** Резервуарные вычисления (РВ) – это относительно новая вычислительная парадигма в области нейронных сетей. РВ основаны на сложном отклике динамической системы, называемой резервуар, на возмущения входного сигнала, который также зависит от предыдущих состояний резервуара. Таким образом, система обладает затухающей памятью аналогично классическим рекуррентным нейронным сетям. Особенностью данного метода является процесс обучения и оптимизации только выходного слоя, в то время как параметры входного слоя и резервуара фиксируются. В данной работе в качестве динамической системы рассматривается лазерный диод с оптоэлектронной обратной связью. Для вычислений используется подход мультиплексирования по времени, где один физический нелинейный узел используется совместно с виртуальными, распределёнными по контуру запаздывающей обратной связи. Настоящая работа посвящена исследованию влияния изменения полосы пропускания фильтра обратной связи на характеристики системы РВ, такие как емкость памяти и вычислительная способность, а также анализу взаимосвязи емкости памяти и собственных значений системы, определяющих ее динамический отклик.

**Основная часть.** Исследуемая система резервуарных вычислений основана на лазерном диоде с полосовой фильтрацией сигнала оптоэлектронной обратной связи. Излучение лазера преобразуется фотодиодом в электрический сигнал, усиливается и фильтруется по частоте. Отфильтрованный сигнал добавляется или вычитается из тока накачки, приводящего в действие лазер, замыкая тем самым контур запаздывающей оптоэлектронной обратной связи. Входные данные поступают в резервуар путем модуляции тока накачки, при этом одно входное значение подается в течение одного времени обхода обратной связи.

Выделяют две основные характеристики системы РВ, которые описывают способность системы восстанавливать введенные в нее ранее входные данные – емкость памяти, а также способность системы как разделять, так и достаточно объединять входные данные – вычислительная способность.

Анализ спектра собственных значений системы позволил нам найти корреляцию между расстоянием от вещественного максимума собственных значений системы до мнимой оси и емкостью памяти системы резервуарных вычислений. Максимальное значение емкости памяти наблюдается, когда множество собственных значений может быть характеризовано как имеющее малое затухание (близкую к нулю действительную часть), а огибающая спектра может содержать относительно плоский участок.

Для дальнейшего исследования корреляции спектральных свойств резервуара и емкости памяти была проведена аппроксимация спектра собственных значений с использованием подхода псевдо-непрерывного спектра, справедливого для больших времен запаздывания. Введена метрика, которая измеряет среднее расстояние между действительной частью псевдо-непрерывного спектра и мнимой осью. Изменение указанного среднего расстояния

хорошо коррелирует с изменением емкости памяти системы. Было обнаружено, что наибольшее значение емкости памяти соответствует наименьшему значению среднего расстояния. Несмотря на существенное увеличение емкости памяти, максимальное значение вычислительной способности остается практически неизменным при вариации полосы пропускания петли обратной связи. Существенное различие между данными характеристиками заключается в том, что емкость памяти увеличивается, когда среднее расстояние минимизируется, и наибольшее ее значение наблюдается близи границы бифуркации Хопфа. При этом вычислительная способность уменьшается и приближается к нулю в окрестностях границ бифуркации.

**Выводы.** Исследовано влияние частотной фильтрации сигнала оптоэлектронной обратной связи на характеристики системы резервуарных вычислений. Изменение частоты среза фильтра низких частот приводит к значительному увеличению емкости памяти, но слабо влияет на вычислительную способность. Уменьшение дистанции между действительной частью псевдо-непрерывного спектра собственных значений и мнимой осью коррелирует с увеличением емкости памяти системы резервуарных вычислений.

Даниленко Г.О. (автор)

Подпись

Ковалев А.В. (автор)

Подпись

Викторов Е.А. (автор)

Подпись

Ковалев А.В. (научный руководитель)

Подпись