

УДК 621.373.826

ЭФФЕКТ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА ПАМЯТИ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВУАРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

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

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

В настоящей работе приведены результаты моделирования системы резервуарных вычислений на основе лазера с фильтрацией сигнала обратной связи. Определено значение объема памяти при изменении полосы пропускания контура обратной связи.

Введение. Резервуарные вычисления – это парадигма обработки данных, в том числе, зависящих от времени, в основе которой лежит отклик сложной динамической системы (резервуара) на входной сигнал. Отклик зависит от текущего входного сигнала и от предыдущих состояний самого резервуара, то есть система обладает памятью. Это свойство делает резервуарные вычисления схожими с классическими рекуррентными нейронными сетями. Преимуществами являются облегчение процесса обучения, которому подвергается только выходной слой системы, высокая вычислительная эффективность и простота реализации. Динамической системой в настоящей работе является лазерный диод с оптоэлектронной обратной связью. Использование нелинейных систем с обратной связью опирается на подход с мультиплексированием по времени, где один физический нелинейный узел используется с виртуальными, которые распределены по контуру запаздывающей обратной связи. Фотодиод и усилитель, входящие в состав контура обратной связи, имеют ограниченную по частоте полосу пропускания. В настоящей работе исследовано влияние изменения полосы пропускания контура обратной связи на объем памяти рассматриваемой системы.

Основная часть. Рассматриваемая система резервуарных вычислений основана на лазерном диоде с оптоэлектронной обратной связью, подвергающейся полосовой фильтрации. Сигнал излучения лазера детектируется фотодиодом, усиливается и фильтруется по частоте из-за ограниченной полосы пропускания фотодиода и усилителя. Далее фильтрованный сигнал добавляется или вычитается из тока накачки, приводящего в действие лазер, замыкая тем самым запаздывающий оптоэлектронный контур обратной связи. Входные данные подаются в резервуар за счет модуляции тока накачки, при этом ввод одного входного значения осуществляется в течение одного времени обхода обратной связи. Объем памяти, определение которого осуществлялось в данной работе, характеризует способность системы восстанавливать введенные в нее ранее входные данные. Наибольшие значения объема памяти наблюдаются на краю устойчивости системы – в окрестности точек бифуркации Андронова-Хопфа, которой система подвергается при соответствующих значениях силы обратной связи и параметра накачки. При данной бифуркации возникает предельный цикл – система переходит в периодический режим. В рамках работы была составлена модель описанной выше системы резервуарных вычислений на основе дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Далее был проведен линейный анализ устойчивости с целью определения границ бифуркации Хопфа. Исходя из рассчитанной границы бифуркации для каждого значения частоты среза фильтра нижних частот был выбран диапазон изменения параметра силы обратной связи и параметра накачки для численного моделирования. Затем проводилось моделирование путем численного решения системы дифференциальных уравнений и вычислялся объем памяти. Расчет выполнялся для 5 значений частоты среза фильтра нижних частот, соответствующих временной постоянной фильтра τ_L , равной 1; 2,5; 5; 7,5; 10. Данная величина измеряется в единицах времени жизни фотона в резонаторе лазера.

Сравнение полученных значений объема памяти показало, что первоначальное уменьшение полосы пропускания для τ_L от 1 до 7,5 приводит к увеличению максимального значения объема памяти с 20 до 40. Однако дальнейшее увеличение временной постоянной привело к снижению объема памяти до 30. Уменьшение частоты среза фильтра нижних частот также приводит к необходимости увеличения абсолютного значения параметра силы обратной связи вследствие сдвига границ бифуркации и, соответственно, областей наибольших значений объема памяти. Для всех расчетов максимальный объем памяти наблюдался на границе устойчивости системы при отрицательной обратной связи.

Выводы. В настоящей работе было исследовано влияние изменения границы полосы пропускания оптоэлектронной обратной связи на объём памяти системы резервуарных вычислений. Уменьшение частоты среза фильтра низких частот изначально приводит к увеличению значения объема памяти, а затем к его уменьшению. Смещение границ бифуркации Хопфа связано с уменьшением пропускной способности фильтра: частоты бифуркации, не попадающие в данный диапазон, отфильтровываются, что приводит к увеличению силы обратной связи, необходимой для возникновения неустойчивости. Наибольшее значение объема памяти равное 40 было получено для временной постоянной фильтра нижних частот τ_L , соответствующей 7,5.

Даниленко Г.О. (автор)

Подпись

Ковалев А.В. (автор)

Подпись

Ковалев А.В. (научный руководитель)

Подпись