

При наличии подключенного к ИММ конфигурационного ППЗУ микроконтроллер считывает содержащуюся в нем информацию и формирует во флэш-памяти блок управляющих программных кодов 7, блок констант-параметров алгоритма 6 и блок массивов коэффициентов аппроксимации 5. Таким образом, последовательно выполняются задачи б), в) и г).

Блок 8 – сложный, содержит в себе ряд управляемых и неуправляемых суб-блоков (8а, 8б и т.д.). Данный блок решает задачу д) – выполняет подготовку к непосредственной реализации алгоритма работы моделируемого датчика.

Сложные по своему составу блоки 9 и 10 предназначены для выполнения задачи е) в соответствии с заданным вариантом. Блок 9 выполняется однократно и служит для первоначального (опорного) измерения параметров рабочей среды. Результаты его измерений могут использоваться при работе блока 10 для выполнения первоначальной оценки достоверности результатов проводимых измерений. Блок 10 выполняется циклически и представляет собой собственно главный цикл программы функционирования микроконтроллера ИММ ЛУИС.

Рассмотренный метод построения программы микроконтроллера ИММ ЛУИС позволяет при необходимости легко изменять количество и состав его функций путем их соответствующего выбора из заранее подготовленного набора программных модулей. При этом расширение существующего набора функций моделируемых датчиков также не представляет особых трудностей, благодаря четкой организации структуры программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьявченко О.Н., Мокров Е.А., Панич А.Е., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г. Методы, модели, алгоритмы и архитектура прецизионных интеллектуальных датчиков давления /Под ред. д.т.н. профессора О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 130 с.
2. Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.

УДК 519.6: 621.37

А.Ф. Кононов

СИНТЕЗ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

Использование хаотических колебаний в качестве носителей информации имеет как ряд достоинств, так и недостатков [1]. Известно несколько способов организации ввода информационного сигнала в хаотическую несущую. В самом простом случае информационный сигнал перемножается с хаотической несущей. Поскольку для хаотического сигнала отсутствует понятие амплитуды, то информационный сигнал на приемной стороне может быть восстановлен при условии существования идентичного синхронного хаотического генератора. Синхронизация генераторов на передающей и принимающей стороне может выполняться внешним сигналом, например, от системы GPS или ГЛОНАС.

При цифровой реализации периодических колебаний известен метод прямого цифрового синтеза (direct digital synthesizer – DDS), в котором фазе колебаний соответствует значение цифрового интегратора, а частоте – величина приращения интегратора за шаг. Изменение частоты колебаний выходной переменной состояния (ПС) достигается изменением величины приращения интегратора, а фазовый сдвиг выполняется с помощью однократного добавления некоторой постоянной к значе-

нию интегратора. Отсчеты выходной величины за период колебаний записаны в таблице. Текущее значение интегратора соответствует адресу в таблице значений выходной переменной, а фазовый сдвиг – смещению в адресном пространстве таблицы или перескоку изображающей точки (ИТ) из одной в другую точку фазового пространства (ФП). Однако для хаотической системы невозможно построить таблицу значений её переменных состояния, или предсказать их значение через некоторое время, не проследив эволюцию этой системы (явление вычислительной неприводимости). Иными словами, не существует статического уравнения хаотического аттрактора.

Для хаотических генераторов введено следующее определение фазы: переменная, соответствующая нулевому ляпуновскому показателю, или координата вдоль траектории в фазовом пространстве [2]. В случае цифровой реализации, сдвиг вдоль хаотической фазовой траектории можно выполнить путем ускорения на некоторое время темпа численного решения уравнений системы. Эквивалентный способ допустим как для дискретного, так и непрерывного способа реализации и состоит в пропорциональном изменении на некоторый промежуток времени всех постоянных времени системы (или правых частей дифференциальных уравнений, описывающих передатчик). В результате ИТ передатчика за относительно короткое время переместится вдоль фазовой траектории, лежащей на аттракторе системы, что требует дополнительных энергетических затрат. Этот процесс можно рассматривать как задание новых значений в интеграторах системы; вся сложность в том, что из-за вычислительной неприводимости невозможно определить будущие значения координат ИТ, лежащей на аттракторе.

Необходимость знания будущих значений переменных состояний либо приводит к физической нереализуемости, либо требует дополнительных затрат (аппаратных или энергетических) при их аппроксимации. Для систем с периодическим поведением нет разницы, куда смещаться вперед или назад по фазе. В хаотических системах тоже есть вариант смещения назад по фазе или назад во времени путем подачи на выход задержанной временной последовательности. В этом случае цифровая реализация задержки как в приемнике, так и в передатчике имеет простейший вид очереди или кольцевого буфера. Величина этого буфера определяет глубину модуляции.

Аналогом частотной модуляции будет случай, когда темп интегрирования уравнений генератора (или скорость движения ИТ по аттрактору) меняется в соответствии с информационным сигналом. В этом случае спектр мощности выходного колебания будет смещаться в частотной области в соответствии с информационным сигналом.

Для случаев частотной и фазовой модуляции на приемной стороне демодуляция может быть выполнена по упомянутой выше схеме, когда имеется синхронный генератор опорных колебаний.

При численной реализации фазовой модуляции неизбежно превращение хаотического аттрактора в предельный цикл, возможно, с очень большим периодом. Вследствие конечной разрядности ПС все фазовое пространство разбивается на ячейки фиксированного размера. Поскольку система хаотическая и обладает аттрактором, то существует ненулевая вероятность того, что ИТ в результате эволюции попадет в малую окрестность одного из предыдущих состояний. В результате округлений отличия между состояниями могут обратиться в ноль и вследствие детерминированности уравнений фазовая траектория замкнется. Описанное свойство, видимо, впервые было обнаружено при исследовании алгоритмических генераторов шума [3]. Рассматривая эту особенность применительно к системам передачи данных, можно заметить, что если период предельного цикла близок к

величине фазового сдвига, то существует опасность, что факт модуляции приемник может не различить.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что к системам передачи информации с хаотической несущей могут быть применены классические способы модуляции, но с учетом ряда рассмотренных выше особенностей.

Кроме трех рассмотренных выше способов введения информационного сигнала в хаотическую несущую, существует еще целый ряд методов, основанных как на модуляции параметров передатчика, так и не сводящихся к ней [1]. Способы передачи хаотической информации можно разделить на два основных типа: перенос ИТ в разные области (вдоль траектории) одного и того же аттрактора; изменение параметров передатчика и тем самым изменение структуры аттрактора.

Для извлечения информационного сигнала в некоторых ситуациях может оказаться ненужным знание уравнений и параметров передатчика, поскольку изменение вида аттрактора приведет к изменению его структуры и таких параметров, как различные виды фрактальных размерностей, показателей Ляпунова, энтропии, которые могут быть определены на основе временной реализации наблюдаемого сигнала передатчика. Также для демодуляции могут использоваться изменения спектрального состава колебаний и их мощности. Сравнение степени скрытности этих способов требует дополнительных исследований. Кроме того, вычисление характеристик аттрактора в реальном времени требует очень больших вычислительных затрат и разработки специальных алгоритмов.

Имеется ряд других способов демодуляции информационной последовательности [1, 4]. Первым недостатком при использовании описанных в литературе схем построения приемников является необходимость высокой идентичности структуры и параметров приемника и передатчика. В тех же работах приводятся требования к степени идентичности, которые необходимы для успешной демодуляции информационного сигнала. В [5] описан способ создания динамического наблюдателя модулируемого параметра на приемной стороне, который смягчает требования идентичности всех параметров передатчика и приемника.

Во всех указанных подходах для определения величины модулируемого параметра в приемнике необходимо восстановить ненаблюдаемые ПС передатчика. Для этого уравнения передатчика и приемника приводятся к каноническому виду [4, 5]. Если для реконструкции используется интегрирование выходного сигнала, то для восстановления всех переменных, операцию интегрирования требуется выполнить такое количество раз, каково количество ненаблюдаемых ПС. В реальных системах связи аналоговые сигналы подвержены воздействию помех широкого класса: импульсных, шумоподобных, периодических и т.д. После многократного длительного интегрирования входного сигнала с шумом наблюдается неограниченное накопление погрешности, вызванное шумовой компонентой с отличными от нуля нечетными статистическими моментами. Если выбрать схему восстановления ПС с многократным дифференцированием наблюдаемой переменной, то с каждой операцией дифференцирования существенно возрастает шумовая компонента. В результате при добавлении шума демодуляция информационного сигнала становится невозможной как при реконструкции интегрированием, так и дифференцированием, что является вторым существенным недостатком.

Третьей проблемой является различие начальных условий интеграторов на передающей и приемной сторонах. Поскольку при симплексном типе передачи отсутствует подготовительная часть соединения (handshaking), то включение приемника и передатчика может происходить в разное время. Поэтому начальные состояния интеграторов в приемнике и передатчике будут разными. Это отличие

воспринимается как полезный сигнал и приводит к ошибке восстановления информации.

Решением перечисленных проблем для систем второго типа может стать создание динамического наблюдателя как параметра, так и всех ненаблюдаемых ПС на приемной стороне.

В качестве альтернативы при реконструкции фазового пространства передатчика предлагается рассмотреть метод задержек, предложенный Ф. Такенсом и не требующий интегрирования наблюдаемой переменной [6]. При этом должны выполняться следующие условия: структура передатчика предполагается известной; информационной последовательностью модулируется только один параметр. Состояние передатчика на приемной стороне реконструируется из входной последовательности методом задержек. В результате определяются координаты ИТ передатчика в псевдофазовом пространстве. На приемной стороне имеется идентичный генератор; величина модулируемого параметра в котором принадлежит некоторому интервалу значений. По выходному сигналу приемника методом задержек в псевдофазовом пространстве строится ИТ приемника. На основе евклидова расстояния между ИТ передатчика и приемника вырабатываются управляющие воздействия на переменные состояния приемника, таким образом, чтобы в псевдофазовом пространстве ИТ передатчика и приемника совпали. После совпадения состояний передатчика и приемника эквивалентный параметр генератора в приемнике будет содержать информационный сигнал.

После рассмотрения вариантов реализации систем связи с использованием хаотической несущей информационного сигнала возникает вопрос их практической реализуемости. В качестве аргумента «за» можно привести тот факт, что уже сейчас происходит кардинальная смена структуры приемников радиосигналов: на входе приемника имеется широкополосный входной усилитель, на частоте несущей производится аналого-цифровое преобразование, а все операции выделения полезного сигнала выполняются в цифровом виде. Таким образом, практическая реализуемость систем данного типа будет зависеть от успешности построения быстрых алгоритмов, реализующих описанные выше идеи.

Выводы:

1. При учете ряда особенностей к системам передачи информации с хаотической несущей могут быть применены классические способы модуляции.
2. Организация передающей стороны и канала связи полностью определяется структурой приемника, который осуществляет восстановление информационного сигнала.
3. Учет неидентичности параметров, шума в канале связи и отличия состояний передающей и приемной стороны требует разработки новых структур приемника сигналов с хаотической несущей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 252 с.
2. *Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю.* Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
3. *Каханер Д., Моулер К., Нэйш С.* Численные методы и программное обеспечение. – М.: Мир, 2001. – 575 с.
4. *Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах // В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.Б. Нейман, Г.И. Стрелкова, Л. Шиманский-Гайер* – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 544 с.

5. Колесников А.А., Капустина А.С. Синергетический метод динамической обработки и защиты информации // Межвузовский научный сборник «Управление и информационные технологии – 2007». – Пятигорск: Изд-во ПГТУ, 2007. – С. 23-31.
6. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного: Введение. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 352 с.

УДК 681.21

Д.А. Шанин, В.Х. Пшихопов, М.Ю. Медведев

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АДАПТИВНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЬЮ ВЕРТОЛЕТА ПОСРЕДСТВОМ ГЛОБАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Нейросетевые подходы хорошо зарекомендовали себя при решении задач адаптивного управления [1–3]. Особенно актуально применение таких методов при управлении объектом, чья структура и параметры являются неопределенными. В этом случае нейросетевой регулятор позволяет сократить сроки и стоимость проектирования, так как нет необходимости решать задачу идентификации и устранить влияние неопределенности при соответствующем обучении.

В работе [3] предложен нейросетевой адаптивный контроллер, обладающий свойствами ПИД-регулятора. Свойства ПИД-регулятора заложены в нейросетевой адаптивный контроллер по причине его универсальности. При этом полученный нейрорегулятор используется не для подстройки коэффициентов, а прямо реализует интегральную составляющую для подавления трендов ошибок, дифференциальную составляющую для подавления резких возмущений и пропорциональную – для уменьшения текущей ошибки. Отметим, что при решении данной задачи был получен нейросетевой алгоритм дифференцирования, который пригоден для применения сигналов с шумами.

При синтезе такого нейросетевого регулятора использовалась динамическая сеть прямой передачи данных, на базе нейронов с радиально-базисной функцией активации в первом слое и аделинов – нейронов с линейной функцией активации, – во втором слое. При этом на тестовых примерах (управление двигателем постоянного тока независимого возбуждения и асинхронном двигателе с векторным управлением) были получены оптимальные настройки нейросети, обеспечивающие при заданном времени переходного процесса наименьшее перерегулирование.

В качестве входов разработанного нейрорегулятора используются следующие последовательности:

- 1) опорный сигнал – задающая последовательность, определяющая конечное состояние объекта;
- 2) выход регулятора;
- 3) ошибка объекта – разность между опорным сигналом и реальным выходом объекта;
- 4) интегрируемая ошибка – ошибка накопленная регулятором за все время работы объекта;
- 5) выход объекта;
- 6) сигнал с выхода объекта.

Выбор входных последовательностей обусловлен структурой регулятора. Некоторые из перечисленных последовательностей предназначаются для определенной составляющей сигнала управления. Так выход объекта и выход регулятора необходим для формирования дифференциальной составляющей и корректировки параметров предиктора фактически реализующего функцию дифференцирования. Последовательность “интегрируемая ошибка” необходима только для интеграль-