

Научно-исследовательское отделение.  
Начальник.

Zolotovskiy Victor Evdokimovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”

E-mail: zol@dce.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-428.

Department of Computer Engineering.

Professor.

Gilvanov Marat Faritovich

FRPC OJSC "RPA "Mars".

E-mail: mars@mv.ru.

20, Solnechnaya street, Ulyanovsk, 432022, Russia.

Phone: 8(8422)262-772.

Chief of research branch.

УДК 519.6: 621.37

**А.Ф. Кононов**

**О ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ  
С ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ: СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД**

*В работе рассмотрены проблемы, возникающие при осуществлении управляемой хаотической синхронизации. Выполнение процедуры конструирования систем передачи данных осложняется появлением ряда новых задач, например, синтеза законов управления в реконструированном пространстве состояний.*

*Динамический хаос; передача информации; управляемая хаотическая синхронизация.*

**A.F. Kononov**

**ABOUT THE PROBLEM OF DATA COMMUNICATION SYSTEM  
SYNTHESIS WITH CHAOTIC CARRIER: SYNERGETICS APPROACH**

*This paper is an attempt to explore some new problem concerning controlled chaotic synchronization. This procedure maked difficult by systems significant non-linearity as well as appearing of some new problems, e.g. control law synthesis in reconstructed state space.*

*Dynamics chaos; data communication; controlled chaotic synchronization*

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 сигналом 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 ГЛОНАСС.

Для хаотических генераторов введено следующее определение фазы: это 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 переместиться 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 невозможно определить будущие значения координат ИТ, лежащей на аттракторе, не проследив полностью эволюцию системы. Это явление называется вычислительной неприводимостью и означает, что для непрерывной хаотической системы время не может выступать в качестве параметра и не существует статического уравнения, связывающего между собой ПС на хаотическом аттракторе.

Необходимость знания будущих значений переменных состояний либо приводит к физической нереализуемости, либо требует дополнительных затрат (аппаратных или энергетических) при их вычислении. 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.

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 цифровой реализации периодических колебаний известен метод прямого цифрового синтеза (direct digital synthesis – 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 значению 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 точки в другую точку фазового пространства (ФП).

Достоинствами метода прямого цифрового синтеза (ПЦС) являются:

- ◆ высокое разрешение по частоте и фазе генерируемого сигнала в результате большого разнеса частот выходного сигнала и опорного генератора;
- ◆ максимально высокая скорость при перестройке частоты или фазы выходного сигнала;
- ◆ изменение частоты без разрывов и изменения формы выходного сигнала, а также отсутствие аномалий переходного процесса;
- ◆ отсутствие необходимости ручной настройки и подстройки связанной со старением элементов;
- ◆ полная идентичность характеристик при реализации нескольких генераторов, синхронизируемых одним источником опорной частоты.

Для хаотической динамической системы, непрерывной во времени и пространстве состояний, невозможно построить таблицу значений её ПС, из-за вычислительной неприводимости. Однако при численной реализации 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]. Из вышеизложенного следует вывод, что при цифровой реализации хаотического генератора множество его значений счетное и более того, имеет конечное число значений. Следовательно, в этом случае можно построить таблицу значений цифрового хаотического генератора, пусть и достаточно большую, и использовать технологию ПЦС. Применительно к хаотическим системам передачи данных с фазовой модуляцией, 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, как основанных на модуляции параметров передатчика, так и не сводящихся к ней [1]. Способы ввода информационной составляющей в хаотическую несущую можно разделить на два основных типа: перенос ИТ в разные области (вдоль

траектории) одного и того же аттрактора; и изменение параметров передатчика или структуры его 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, следовательно, различных видов фрактальных размерностей, показателей Ляпунова, энтропии. Эти характеристики могут быть определены на основе анализа временной реализации наблюдаемого сигнала передатчика. Также для демодуляции могут использоваться факт 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.

В литературе описан ряд способов демодуляции информационной последовательности, основанных на знании структуры передатчика и реконструкции всех ПС по одной наблюдаемой [1, 4]. Первым недостатком при использовании описанных схем 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 качестве альтернативы предложен синергетический синтез динамического наблюдателя модулируемого параметра на приемной стороне, который максимально смягчает требования идентичности всех параметров передатчика и приемника [5].

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. Если для реконструкции используется интегрирование выходного сигнала, то для восстановления всех переменных, операцию интегрирования требуется выполнить такое количество раз, сколько 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 в канале связи демодуляция передаваемого сигнала становится невозможной как при реконструкции интегрированием, так и дифференцированием, что является вторым существенным недостатком указанных подходов.

Третьим недостатком является необходимость установки одинаковых 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. Как следствие начальные состояния интеграторов в

приемнике и передатчике будут разными, что при существующих схемах реконструкции ПС воспринимается как полезный сигнал и приводит к ошибке восстановления информации.

В качестве альтернативы существующим методам реконструкции фазового пространства передатчика предлагается использовать метод задержек, предложенный Ф. Такенсом [6]. Состояние передатчика на приемной стороне реконструируется в псевдофазовом пространстве (ПФП) из входной последовательности методом задержек. В этом же ПФП по выходному сигналу генератора приемника тем же методом задержек строится ИТ приемника. На основе евклидова расстояния между ИТ передатчика и приемника синергетическим методом вырабатываются управляющее воздействие на переменные состояния приемника, таким образом, чтобы ИТ передатчика и приемника совпали в ПФП. В установленном режиме выходной сигнал устройства управления в приемнике будет содержать информационный сигнал.

В результате предложенного подхода: не требуется операции многократного интегрирования или дифференцирования при реконструкции ненаблюдаемых переменных и имеется низкая чувствительность к аддитивному шуму в канале связи.

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 начальных состояний передающей и приемной стороны требует разработки новых методов синтеза приемников 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., Нэш 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. – М.,-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.

Кононов Антон Федорович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: anatoly.kolesnikov@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)318-090.

Кафедра синергетики и процессов управления.

Доцент.

Kononov Anton Fedorovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: anatoly.kolesnikov@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)318-090.

Department of Synergetics and Control.

Associate professor.

УДК 629.7.072.1

**Н.Ш. Хусаинов**

**ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА БОРТОВОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

*Рассматриваются вопросы создания информационно-алгоритмического обеспечения для системы радионавигации, основанной на использовании наземной радиомаяковой схемы для коррекции координат летательных аппаратов на завершающем участке траектории. Основное внимание уделено вопросам проектирования схема взаимодействия подсистем навигации и управления в рамках единой бортовой интегрированной системы.*

*Система ближней радионавигации; бортовая интегрированная система навигации и управления; определение местоположения; коррекция координат.*