

*Гребенев М.С., Кондрашов А.В., Перепеловский В.В.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»*

Передача двоичных данных на хаотически сформированных несущих частотах

В работе предложен метод передачи и приема двоичных данных, использующий динамический хаос в качестве источника множества несущих частот. На стороне сервера формируется информационный сигнал в форме сетки частот с хаотически выбранными частотами спектра, амплитуды которых соответствуют передаваемому информационному сообщению. На стороне клиента происходит восстановление передаваемой информации по хаотически выбранным спектральным окнам. Синхронизация генераторов динамического хаоса сервера и клиента, происходит средствами TCP/IP протокола.

Ключевые слова: Динамический хаос, система уравнений Лоренца, методы передачи информационных сигналов, LabView.

Непрерывно растущие требования, предъявляемые к информационно-телекоммуникационным системам, обуславливают необходимость поиска новых способов передачи информационных сигналов, новых методов ввода информационных сигналов на несущее колебание, возможности вторичного использования занятых каналов связи, повышения уровня скрытности передаваемых сигналов и др. Решение ряда перечисленных задач может быть выполнено путем использования динамического хаоса. Интерес к исследованию методов генерации динамического хаоса объясняется возможностью использования его в качестве несущего колебания в телекоммуникационных системах [1-3], радарных системах [4-7], при разработке систем генерации случайных чисел [8,9], а также в системах радиоосвещения [10].

Основным явлением, используемым при построении приемопередающих систем на динамическом хаосе, является хаотическая синхронизация. Одним из первых способов передачи информационных сигналов с использованием хаоса была хаотическая маскировка [1], позволяющая передавать непрерывные информационные сигналы. Однако ей свойственна сильная чувствительность к шуму в канале связи. Для передачи цифровых сигналов можно использовать переключение хаотических режимов или модулирование параметров генератора хаотического сигнала [11-13]. Недостатком таких способов передачи является необходимость создания двух идентичных генераторов в приемнике и передатчике, что зачастую бывает сложной задачей, а также возможность реконструкции параметров передающего генератора и последующего дешифрования информационного сообщения. Решение проблем устойчивости к шумам и необходимости построения двух идентичных хаотических генераторов может быть получено путем использования обобщенной хаотической синхронизации для построения приемо-передающего тракта [14,15]. Однако в таком случае возникают сложности при извлечении информационного сигнала в приемнике.

В настоящей работе предложен способ скрытой передачи информационного цифрового сигнала между двумя компьютерами с помощью протокола TCP/IP посредством

использования динамического хаоса. Важной особенностью предложенного способа является то, что динамический хаос используется не в качестве несущего колебания, а в качестве источника множества несущих частот информационного колебания.

Алгоритм работы передатчика показан на рисунке 1. Предлагаемый способ передачи схож с хаотической маскировкой. Информационный сигнал подмешивается к фоновому сигналу. Спектры информационного и фонового сигналов находятся в одном диапазоне частот. Соотношения мощностей фонового и информационного сигналов таково, что при их суммировании невозможно выделить спектр информационного сигнала.

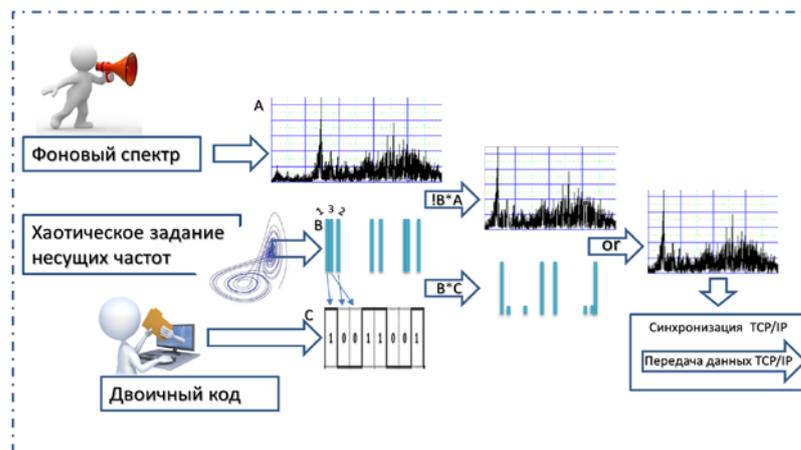


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы передатчика.

Отличительной особенностью предлагаемого метода является то, что для скрытия информационного сигнала используется фоновый нехаотический сигнал, который может представлять собой некоторое дополнительное информационное сообщение, передаваемое открыто. Информационное сообщение представляет собой двоичный код, состоящий из восьми битов. Информационный сигнал в форме сетки частот формируется с помощью восьми генераторов монохроматического сигнала. Значения частот каждого монохроматического сигнала определяется с помощью хаотической системы уравнений, а амплитуды соответствуют значению бита. Большая амплитуда соответствует логической единице, меньшая амплитуда соответствует логическому нулю. Сигналы как большой, так и маленькой амплитуды по мощности слабее фонового. На следующем этапе в спектре фонового сигнала выполняется суммирование спектров фонового и информационного сигнала. Далее выполняется Фурье преобразование, полученная временная реализация оцифровывается и передается в цепь связи.

На рисунке 2 показана блок-схема приемника. После приема сигнала выполняется Фурье преобразование для получения его частотного спектра. В приемнике используется точно такая же хаотическая система уравнений, которая выдает набор из восьми частот. Эти частоты в точности соответствуют частотам, сгенерированным передающей системой. Синхронизация достигается путем использования протокола ТСР/ІР. Далее на полученных частотах из принятого сигнала вырезаются узкие частотные окна, и измеряется мощность сигнала в этих окнах.

Таким образом, скрытность достигается двумя способами. Во-первых, частоты сетки частот информационного сигнала изменяются хаотически; во-вторых, мощность информационного сигнала значительно ниже мощности фонового.

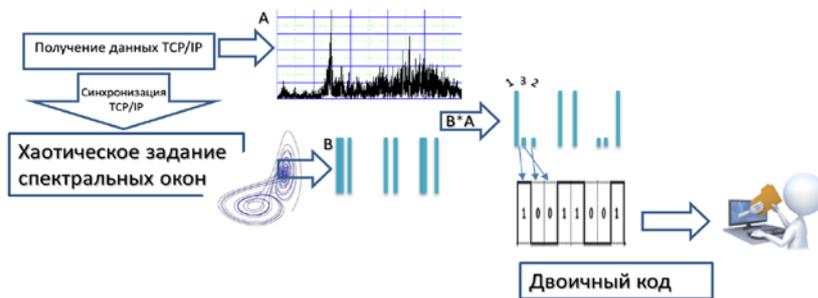


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы приемника.

Проверка работоспособности предложенного алгоритма была проведена путем создания в программном пакете LabView моделей приемника и передатчика. Модели запускались на удаленных друг от друга компьютерах. Связь между компьютерами осуществлялась через интернет по протоколу ТСР/IP.

Основой каждой из моделей был цикл, проводивший численное решение системы уравнений Лоренца. Синхронизация циклов осуществлялась посредством протокола ТСР/IP. В качестве фонового сигнала использовалась аудиозапись длительностью 10 сек. Временная реализация и частотный спектр фонового сигнала показаны на рисунке 3(a). Из рисунка можно видеть, что максимум спектральной плотности находился вблизи 150 Гц.

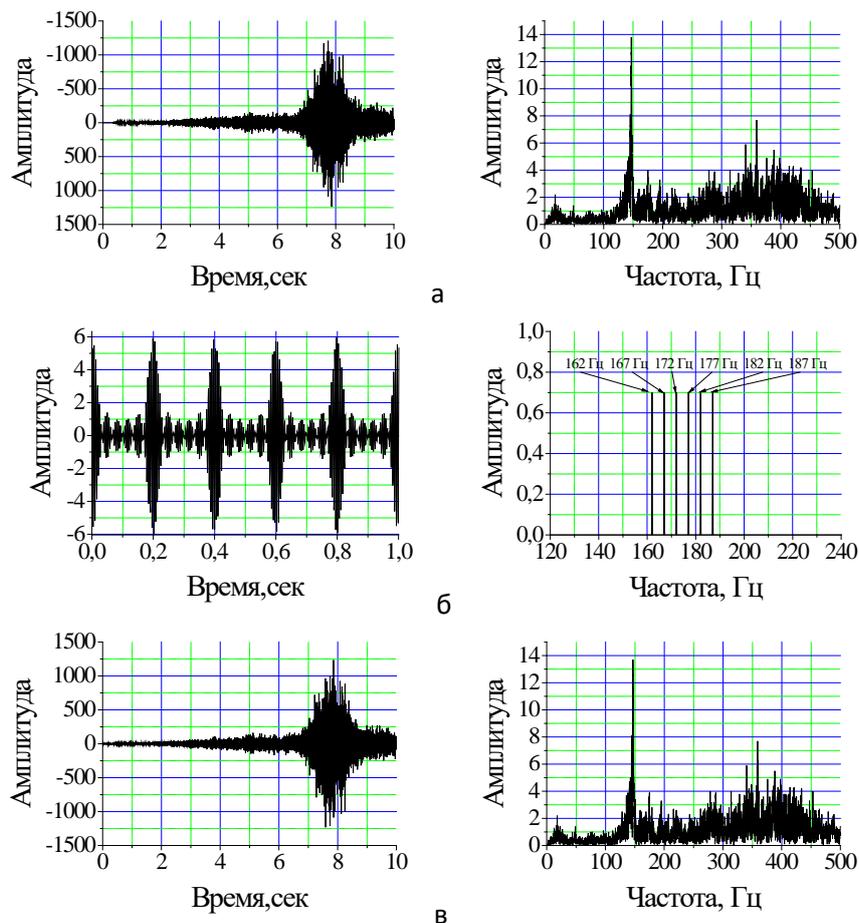


Рис.3. Экспериментальные результаты

На рисунке 3(б) показаны временная реализация и частотный спектр информационного сигнала. Информационный сигнал соответствует передаче числа 252, которое в двоичной системе записывается как 11111100. Амплитуды каждого из сигналов сетки частот значительно меньше амплитуды фонового сигнала, а их частоты находятся вблизи максимума спектральной плотности фонового сигнала. На рисунке 3(в) представлены спектры и временные реализации «суммарного» сигнала, получаемого в соответствии с описанным выше алгоритмом. Из графиков можно сделать вывод, что информационный сигнал не заметен ни в спектральной, ни во временной области. На передатчике из принятого сигнала информационное сообщение извлекалось с высокой точностью. Поскольку суммирование информационного и фонового сигнала производится прямо перед вводом сигнала в цепь связи, то влияние шумов определяется степенью помехозащищенности протокола TCP/IP.

Важно отметить, что в качестве фонового сигнала можно использовать другой информационный сигнал, в частности голосовое сообщение. Добавление слабого сигнала в форме сетки частот не изменит его в значительной степени. Таким образом, предлагаемый способ позволит реализовать вторичное использование канала связи.

Библиографический список

1. А.С. Дмитриев, А.И. Панас, "Динамический хаос: новые носители информации для систем связи, " Физматлит, М., 2002,
2. A. Argyris, D. Syvridis, L. Larger, V. Annovazzi-Lodi, P. Colet, I. Fischer, J. Garcia-Ojalvo, C. R Mirasso, L. Pesquera, K.A. Shore "Chaos-based communications at high bit rates using commercial fibre-optic links," Nature Vol. 438 (7066), P. 343 (2005)
3. M. Zhang, J. Zheng, A. Wang, Y. Wang, J. Jiang, and T. Liu "Chaotic ultra-wideband over fiber link based on optical feedback laser diode," Microwave and optical technology letters, Vol. 55, No. 7, P. 1504-1507 (2013)
4. B. C. Flores, E. A. Solis, G. Thomas, "Chaotic signals for wideband radar imaging", International Society for Optics and Photonics, P. 100-111 (2002)
5. A. Ashtari, G. Thomas, H. Garces, B. C. Flores, "Radar signal design using chaotic signals", International Waveform Diversity and Design Conference, P. 353-357 (2007)
6. Z. Liu, X. Zhu, W. Hu, F. Jiang, "Principles of chaotic signal radar", International Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 17, pp. 1735-1739 (2007).
7. F. Y. Lin, J. M. Liu, "Chaotic radar using nonlinear laser dynamics", IEEE J. Quantum Electron., vol. 40, no. 6, pp. 815-820 (2004).
8. A. Argyris, S. Deligiannidis, E. Pikasis, A. Bogris, D. Syvridis, "Implementation of 140 Gb/s true random bit generator based on a chaotic photonic integrated circuit," Optics express, Vol. 18 (18), P. 18763-18768 (2010)
9. A. Akgul, C. Li, and I. Pehlivan, "Amplitude Control Analysis of a Four-Wing Chaotic Attractor, its Electronic Circuit Designs and Microcontroller-Based Random Number Generator" J Circuit syst comp, Vol. 26, P. 1750190 (2017)
10. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В. "Источники радиоосвещения на основе сверхширокополосных микрогенераторов хаотических колебаний, " Письма в ЖТФ, т. 42, вып. 24, с. 49-57 (2016).
11. Dedieu H, Kennedy M P, Hasler M IEEE "Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing." 40 P. 634 (1993)
12. Yang T, Chua L O IEEE Trans. Circuits Syst. "Secure communication via chaotic parameter modulation" I Regular Papers Vol. 43 P. 817 (1996)
13. Cuomo K., Oppenheim A. Communication using synchronized chaotic systems // US Patent No. 5291555 от 1.03.1994
14. Terry J.R., VanWiggeren G.D. "Chaotic communication using generalized synchronization," Chaos, Solitons and Fractals. Vol. 12, P. 145-152 (2001)
15. А.А. Короновский, О.И. Москаленко, А.Е. Храмов "О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации, " УФН, том 179, номер 12, С. 1281–1310 (2009).