

УДК 621.391.2

Г. Н. Розоринов¹, А. К. Егоров¹, О. В. Брягин²

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
проспект Победы, 37, 03056 Киев, Украина

²Министерство внутренних дел Украины
ул. Богомольца, 10, 01024 Киев, Украина

Передача дискретной информации путем стохастической модуляции случайной несущей

Предложена оригинальная система передачи дискретной информации, обеспечивающая передачу и оптимальный прием стохастически модулированных сигналов. Приведены результаты экспериментального исследования системы, подтверждающие ее реализуемость и эффективность.

Ключевые слова: случайные процессы, многомерные функции, стохастическая модуляция, оптимальный прием.

Введение

Системы передачи дискретной информации являются одним из основных видов современных радиотехнических систем и быстро развиваются в разных применениях. Увеличивается объем информации и скорость ее передачи. Одновременно возрастают требования по обеспечению их работы в условиях сложных внешних воздействий, а также естественных и преднамеренных помех и помех от других радиотехнических систем, работающих на близких частотах или в общем участке диапазона частот.

Все это делает необходимым не только совершенствование существующих и традиционных систем передачи дискретной информации, но и развитие новых видов систем, а также исследование новых принципов их построения.

Наибольшее значение при совершенствовании систем передачи информации могут иметь исследования, связанные с использованием новых видов сигналов, называемых сложными, широкополосными, шумоподобными, многомерными и др.

Свойства, присущие этим сигналам, делают их перспективными также и при решении некоторых проблем, связанных с обеспечением работы системы в условиях интенсивных помех, передачи информации с малой скоростью в одном широкополосном канале с мощными сигналами и т.п.

© Г. Н. Розоринов, А. К. Егоров, О. В. Брягин

Целью настоящей работы является обоснование возможности существенного удешевления и упрощения системы передачи дискретной информации при обеспечении оптимального ее приема по любому из известных статистических критериев обнаружения [1], а также обеспечение способности противостоять обнаружению и измерению параметров.

Общая постановка

В работе [2] показано, что коэффициент независимости отсчетов случайного процесса

$$C_R^n(t) = \frac{F\{x_1, t - \tau_1; x_2, t - \tau_2; \dots x_n, t - \tau_n\}}{\prod_{i=1}^n F\{x_i, t - \tau_i\}}, \quad (1)$$

($F\{x_1, t - \tau_1; x_2, t - \tau_2; \dots x_n, t - \tau_n\}$ — n -мерная функция распределения вероятностей случайного процесса, а $F\{x_i, t - \tau_i\}$, $i = \overline{1, n}$ — одномерные функции распределения вероятностей) совпадает с оценкой отношения правдоподобия для случая проверки гипотезы о том, что наблюдаемые отсчеты случайного процесса **зависимы** против простой альтернативы, и заключающейся в том, что эти отсчеты **независимы**. Там же приведены практические результаты измерений коэффициента независимости для произвольно распределенных случайных процессов. Из этих результатов с очевидностью следует, что, изменяя коэффициент связи между отсчетами случайного процесса можно передавать информационные сигналы, обеспечивая их оптимальный прием путем измерения величины коэффициента независимости $C_R^n(t)$. Рассмотрим детально передачу и прием таких, по сути, стохастически модулированных сигналов.

Стохастический модулятор

По аналогии с предложенным в [2] алгоритмом формирования **зависимых** отсчетов для реализации стохастической модуляции может быть использован итерационный алгоритм вида:

$$X(k\Delta t) = x(k\Delta t) + K \cdot s(t) \cdot x[(k-1)\Delta t], \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

где $x(k\Delta t)$, $k = 0, 1, 2, \dots$ — последовательность независимых отсчетов произвольно распределенного случайного процесса; $s(t)$ — модулирующий сигнал; K — коэффициент связи между отсчетами; Δt — период следования отсчетов.

Тогда структурная схема стохастического модулятора, реализующего алгоритм (2), представляет собой последовательно соединенные элемент задержки 1 (на время Δt), двухвходовый перемножитель 2 и сумматор 3 (рис. 1).

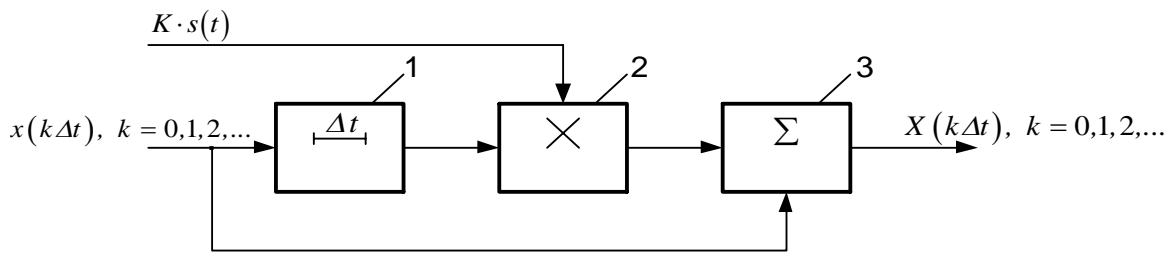


Рис. 1. Структурная схема стохастического модулятора

Модулируемая последовательность независимых отсчетов случайного процесса $x(k\Delta t)$, $k = 0, 1, 2, \dots$ подается на вход элемента задержки 1, где задерживается на время Δt , равное периоду следования отсчетов, и на один из входов сумматора 3. Задержанная на время Δt последовательность независимых отсчетов подается на один из входов перемножителя 2, на другой вход которого поступает модулирующий сигнал $s(t)$. Перемножитель 2 изменяет амплитуду последовательности задержанных отсчетов случайного процесса в $K \cdot s(t)$ раз. Преобразованная таким образом последовательность задержанных отсчетов случайного процесса поступает на другой вход сумматора 3, с выхода которого снимается последовательность стохастически модулированных (по признаку *зависимые – независимые*) отсчетов случайного процесса $X(k\Delta t)$, $k = 0, 1, 2, \dots$. На рис. 2 показан пример стохастической модуляции последовательности независимых отсчетов случайного процесса последовательностью прямоугольных импульсов единичной амплитуды для разных значений коэффициента связи K между отсчетами.

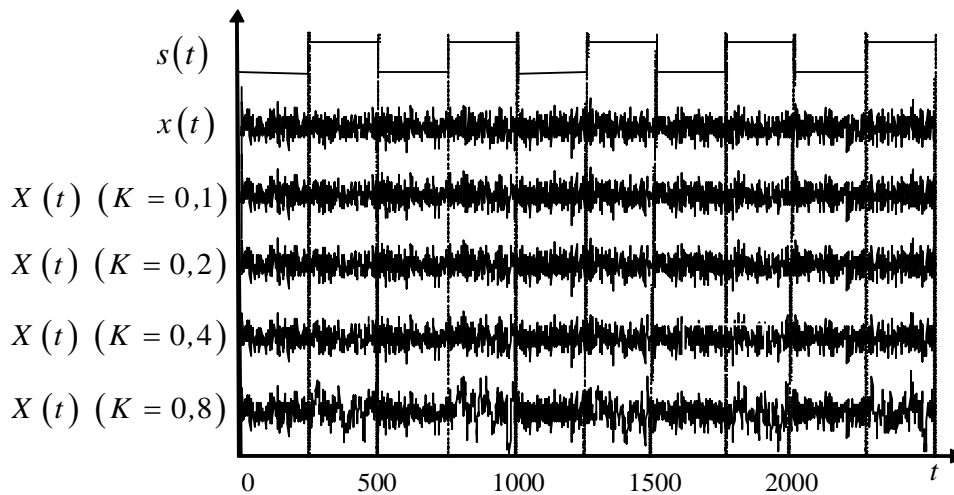


Рис. 2. Пример стохастической модуляции случайного процесса последовательностью прямоугольных импульсов

В этом примере $s(t)$ — модулирующая последовательность прямоугольных импульсов единичной амплитуды, а $x(t)$ — модулируемый случайный процесс с нулевым математическим ожиданием, единичной дисперсией и независимыми отсчетами. Из рис. 2 видно, что при модуляции с достаточно большими (больше 0,4) значениями коэффициента связи нетрудно обнаружить присутствие стохастической

ческой модуляции на фоне шумового сигнала. Для устранения возможности обнаружения модуляции поступим следующим образом.

С учетом алгоритма (2) и того, что отсчеты $x(k\Delta t)$, $k = 1, 2, \dots$ имеют нулевое математическое ожидание, единичную дисперсию и независимы, для математического ожидания и дисперсии сигнала на выходе стохастического модулятора получим:

$$m_1 \{X(k\Delta t)\} = 0, \quad M_2 \{X(k\Delta t)\} = 1 + K^2, \quad \forall k.$$

Это позволяет пронормировать выходной сигнал стохастического модулятора по дисперсии на интервале времени действия модулирующего дискретного сигнала. Для этого достаточно ввести в схему, показанную на рис. 1, еще один перемножитель, выполняющий операцию

$$Y(k\Delta t) = \begin{cases} X(k\Delta t), & \text{при } s(t) = 0, \\ \frac{X(k\Delta t)}{\sqrt{1 + K^2}}, & \text{при } s(t) = 1. \end{cases} \quad (3)$$

При этом структурная схема стохастического модулятора дискретных сигналов имеет вид, показанный на рис. 3.

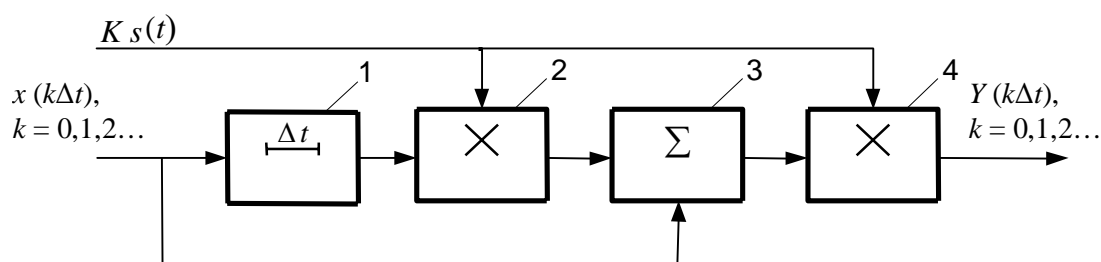


Рис. 3. Структурная схема стохастического модулятора с нормированной дисперсией выходного сигнала

На рис. 4 показан результат стохастической модуляции последовательности прямоугольных импульсов с использованием описанного приема.

Из рис. 4 видно, что введение в стохастический модулятор дополнительного перемножителя 4, нормирующего дисперсию выходного сигнала модулятора, приводит к тому, что обнаружение присутствия модуляции сигнала становится практически невозможным даже при больших значениях коэффициента связи K между отсчетами.

Таким образом, не подлежит сомнению возможность осуществления стохастической модуляции и передачи дискретной информации с помощью произвольно распределенных шумов.

Рассмотрим теперь вопрос приема, то есть демодуляции стохастически модулированных сигналов.

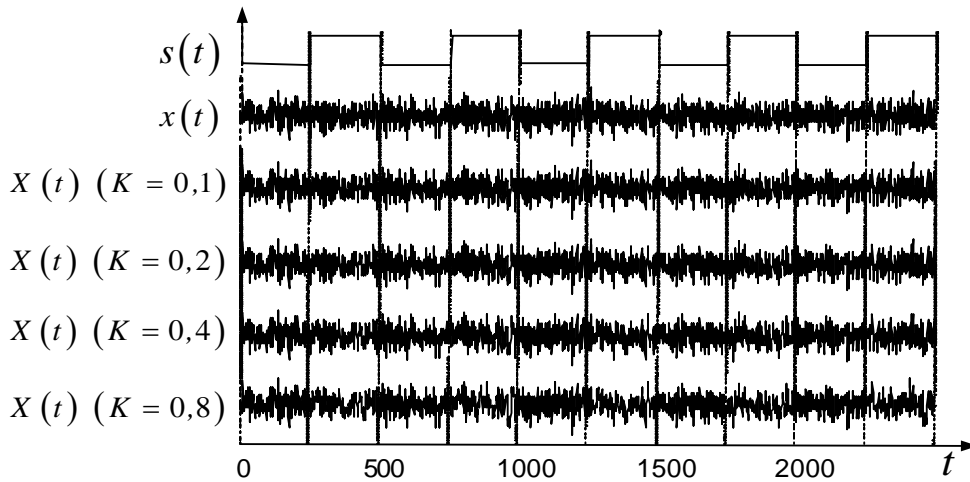


Рис. 4. Стохастическая модуляция случайного процесса прямоугольными импульсами с нормированием дисперсии выходного сигнала

Демодулятор стохастически модулированных сигналов

В качестве демодулятора стохастически модулированных сигналов может быть использовано устройство для измерения коэффициента независимости отсчетов случайного процесса [2]. Это устройство дает оценку отношения правдоподобия для случая проверки гипотезы о том, что наблюдаемые отсчеты случайного процесса *зависимы* против простой альтернативы, заключающейся в том, что эти отсчеты — *независимы*. Структурная схема демодулятора стохастически модулированного шума показана на рис. 5.

На рис. 5 использованы такие обозначения: 1 — элемент задержки с n выходами; 2 — пороговые элементы; 3 — n -входовой элемент И; 4 — t -текущие интеграторы; 5 — n -входовой множитель; 6 — элемент деления. Работа этого устройства подробно описана в [2], а методика измерения многомерных функций распределения вероятностей произвольно распределенных случайных процессов — в [3].

На рис. 6 показаны временные диаграммы, поясняющие процесс демодуляции стохастически модулированного случайного процесса с помощью устройства для измерения коэффициента независимости отсчетов случайного процесса (рис. 5).

На диаграмме а) показана модулирующая информационная последовательность $s(t)$ прямоугольных импульсов единичной амплитуды; на диаграмме б) — несущая $n(t)$ в виде случайного процесса с независимыми отсчетами, нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; на диаграмме в) — стохастически модулированный случайный процесс $x(t)$; на диаграмме г) — выходной сигнал демодулятора $y(t)$. При проведении эксперимента постоянная накопления t -текущих интеграторов была выбрана равной 3000, а коэффициент связи между отсчетами $K = 0,6$.

Нетрудно увидеть, что, несмотря на отсутствие каких-либо признаков информационного сигнала в шумовой несущей, демодулятор уверенно его обнаруживает, реализуя алгоритм оптимального приема.

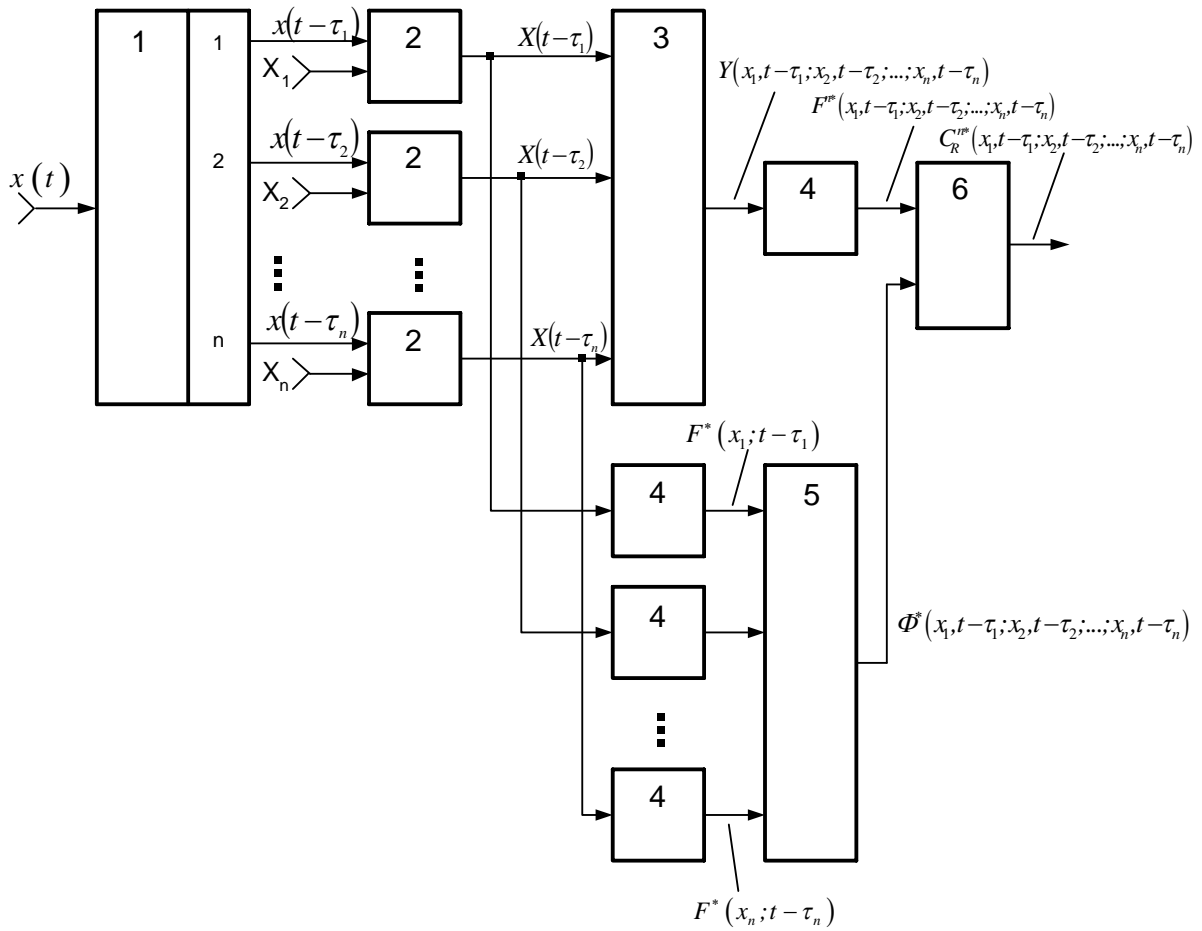


Рис. 5. Структурная схема демодулятора стохастически модулированных сигналов

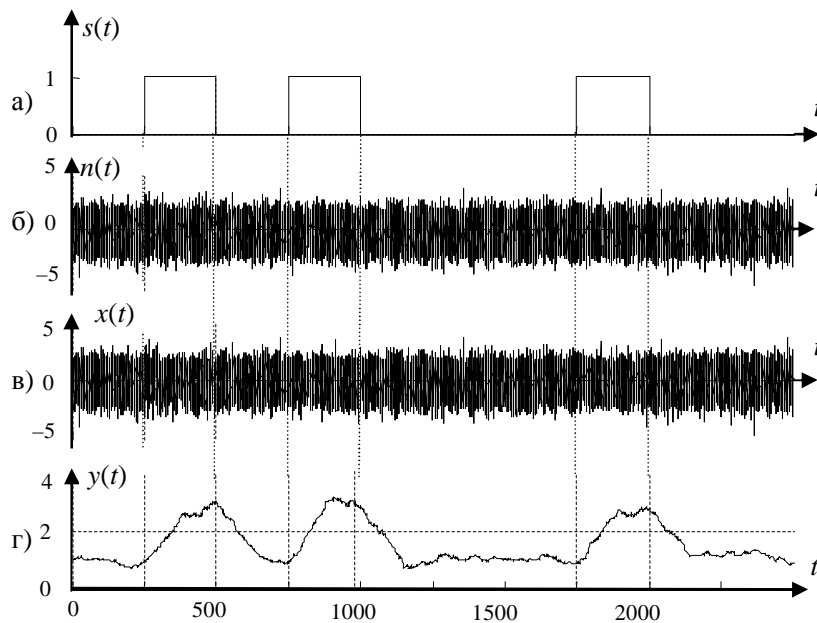


Рис. 6. Демодуляция стохастически модулированного случайного процесса

Выводы

1. Предложена относительно простая и эффективная система передачи дискретной информации, основанная на использовании величины коэффициента связи между отсчетами случайных процессов, обеспечивающая скрытную передачу и оптимальный прием стохастически модулированных сигналов.

2. Приведены результаты экспериментального исследования системы передачи дискретной информации типа «стохастический модулятор – оптимальный приемник», подтверждающие ее эффективность, способность противостоять обнаружению и практическую реализуемость.

1. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 2. — М.: Сов. радио, 1968. — 552 с.

2. *Брягин О.В., Егоров А.К., Розоринов Г.Н.* Определение степени независимости отсчетов случайных процессов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 4. — С. 29–37.

3. *Брягин О.В., Егоров А.К., Розоринов Г.Н.* Об оценке многомерных функций распределения вероятностей речевых сигналов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 3. — С. 41–49.

Поступила в редакцию 25.02.2005