

в привлечении существенных материальных средств. В целях минимизации данных затрат целесообразно пользоваться математическими моделями, позволяющими прогнозировать производительность и качество обрабатываемых изделий, изменяя огромное число параметров технологического процесса.

Литература

1. Технология оптических деталей ; под ред. М. Н. Семибратова. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.
2. Орлов, П. Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки / П. Н. Орлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.

3. Способ обработки шариков : а. с. 1776545 // Бюл. изобр. – 1992. – № 43. – С. 32.
4. Филонов, И. П. Кинетика формообразования шариков для микрооптики в поле сил инерции / И. П. Филонов, А. С. Козерук, В. И. Чембрович // Оптический журнал. – 1997. – Т. 64, № 6. – С. 108–109.
5. Козерук, А. С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов на основе математического моделирования: автореф. дис. ... док. техн. наук: 11.10.97. – Минск, 1991. – 33 с.
6. Филонова, М. И. Совершенствование процессов формообразования сферических поверхностей оптических деталей с применением УЗК и пневмоцентробежной обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Минск, 1997. – 18 с.

УДК 004.056:061.68

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫХ СООБЩЕНИЙ

Бокуть Л.В.¹, Деев Н.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрена задача выделения широкополосного сигнала в рамках теории нелинейной фильтрации марковских процессов. Предложенный способ позволяет достичь значительного улучшения помехоустойчивости систем связи.

Ключевые слова: частотно модулированный сигнал, узкополосные помехи, марковский процесс.

RESEARCH OF CHANNEL CODING ALGORITHMS IN THE SYSTEMS OF TRANSFER DISCRETELY - CONTINUOUS MESSAGES

Bokut L.¹, Deev N.²

¹Belarusian National Technical University

²The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Summary. In work the problem of allocation of a broadband signal within the theory of nonlinear filtration of Markov processes is considered. The offered way allows to reach considerable improvement of noise stability of communication systems.

Keywords: frequency-modulated signal, narrow-band hindrances, Markov process.

Адрес для переписки: Бокуть Л.В., ул. Я. Коласа, 22, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lvbokut@bntu.by

Широкополосным сигналам свойственна большая избыточность, которая требуется для преодоления высоких уровней интерференции, возникающей при передаче цифровой информации по некоторым радиоканалам. Кодирование служит важным элементом при синтезе широкополосных сигналов. Действительно, кодированный сигнал имеет показатель расширения спектра больше единицы, и кодирование является эффективным методом введения избыточности.

Широкополосные системы радиосвязи подвержены действию комплекса помех [1]. Обычно в полосу спектра широкополосного шумоподобного сигнала могут попасть несколько узкополосных частотно-модулированных (ЧМ) колебаний, интенсивность которых значительно больше

полезного сигнала. Задача выделения сигнала на фоне суммы квазигармонических колебаний и белого гауссовского шума может быть решена в рамках теории нелинейной фильтрации марковских процессов.

На передающей стороне системы связи формируется шумоподобный сигнал $S(t, \lambda)$, в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

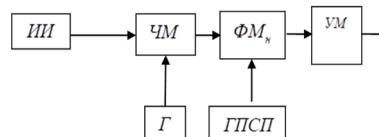


Рисунок 1 – Структурная схема формирователя скремблированного ЧМ сигнала

Схема формирует скремблированный ЧМ сигнал путем фазовой манипуляции узкополосного ЧМ сигнала псевдослучайной последовательностью (ПСП). Информация, поступающая от источника (ИИ) подается на частотный модулятор (ЧМ), запитываемый несущим колебанием от генератора (Г). ГПСЦП – генератор ПСП, тактовая частота которого f_T определяет спектр сигнала на выходе фазового манипулятора (ФМ_н). Усилитель мощности (УМ) включен на выходе формирователя.

Выражение, описывающее сигнал имеет вид:

$$S(t, \lambda) = a_o g(t) \cos[(\omega_o + \lambda)t + \beta], \quad (1)$$

здесь a_o – известная амплитуда, $g(t)$ – ПСП, принимающая значения ± 1 в соответствии с выбранным кодом, ω_o – известное значение несущей, β – случайная фаза. Равномерно распределенная в интервале $\pm\pi$. Сообщение $\lambda \cong \lambda(t)$ имеет спектр, значительно меньший, чем полоса спектра, причем $\lambda(t) \gg d\lambda/dt$.

На приемной стороне действует смесь $r(t)$ сигнала $S(t, \tau, \lambda, \beta)$, помехи $y_\Sigma(t)$ и белого гауссовского шума (БГШ) $n(t)$ со спектральной плотностью $N_o/2$.

$$r(t) = S(t, \tau, \lambda, \beta) + y_\Sigma(t) + n(t), \quad (2)$$

где $S(t, \tau, \lambda, \beta) = a_o g(t - \tau) \cos[(\omega_o + \lambda)t + \beta]$;
 $y_\Sigma(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cos[\omega_i t + \Psi_i(t)]$.

Задержка τ и сообщение $\lambda(t)$ сигнала представляет случайные процессы, которые заданы стохастическими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = -\gamma\lambda(t) + n_\lambda(t); \quad \frac{d\tau(t)}{dt} = n_\tau(t), \quad (3)$$

где $n_\lambda(t)$ и $n_\tau(t)$ формирующие БГШ с заданными спектральными плотностями, γ – параметр, определяющий спектр сообщения. Суммарная помеха $y_\Sigma(t)$ включает N узкополосных помех с амплитудами α_i , частотами ω_i и фазами $\Psi_i(t)$, $i = 1, N$. Уравнения, описывающие процессы $\Psi_i(t)$ и α_i , имеют вид:

$$\frac{d\alpha_i}{dt} = 0; \quad \frac{d\Psi_i(t)}{dt} = n_i(t). \quad (4)$$

Таким образом, комплекс помех представлен марковскими процессами [3].

Учитывая, что сигнал слабый, в уравнениях для оценок α_i^* , $\Psi_i^*(t)$ можно использовать следующее выражение для производной по времени от функции правдоподобия:

$$F(\alpha^*, \Psi^*) = \frac{2}{N_o} \left[r(t) y^* \Sigma(t) - \frac{1}{2} y^{*2} \Sigma(t) \right]. \quad (5)$$

Уравнения фильтрации параметров записываются в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\alpha_i^*}{dt} &= k_{\alpha i} \cdot \frac{\partial F(\alpha^*, \Psi^*)}{\partial \alpha_i^*} \\ \frac{d\Psi_i^*(t)}{dt} &= k_{\psi i} \cdot \frac{\partial F(\alpha^*, \Psi^*)}{\partial \Psi_i^*} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$i = \overline{1, N}$. С учетом (5) и (6) после преобразований получаем:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i^* &= \frac{k_{\alpha i}}{\rho + \gamma_i} \cdot r(t) \cos[\omega_i t + \Psi_i^*(t)] \\ \frac{d\Psi_i^*(t)}{dt} &= k_{\psi i} \cdot r(t) \alpha_i^* \sin[\omega_i t + \Psi_i^*(t)] \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

$i = \overline{1, N}$, где $k_{\alpha i}$ и $k_{\psi i}$ – известные коэффициенты.

Для обработки сигнала после компенсатора суммарной помехи функционирует некогерентный приемник. Уравнения, описывающие его работу, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\tau^*(t)}{dt} &= k_i \left[L(\tau^* + \frac{d\tau}{2}, \lambda^* - L(\tau^* - \frac{d\tau}{2}, \lambda^*)) \right] \\ \lambda^*(t) &= \frac{k_\lambda}{p + \gamma} \left[L(\tau^*, \lambda^* + \frac{d\lambda}{2}) - L(\tau^*, \lambda^* - \frac{d\lambda}{2}, \Psi_i^*) \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В соответствии с уравнениями (8), где $L(\tau^*, \lambda^*)$ реализуется в виде согласованного фильтра и детектора огибающей, некогерентный приемник содержит схему слежения за задержкой τ и следящий некогерентный ЧМ приемник. Схема описана в работе [2].

За счет обработки сигнала в компенсаторе происходит подавление узкополосных помех, что и обеспечивает повышение помехоустойчивости.

Предложенный вариант формирования и обработки скремблирующего широкополосного сигнала на фоне суммы узкополосных помех обеспечивает значительное улучшение помехоустойчивости систем связи, использующих шумоподобные сигналы.

Литература

1. Бокуть, Л. В. Подавление помех в беспроводных информационных системах / Л. В. Бокуть, Н. А. Деев // Материалы 14-й международной научно-технической конференции «Приборостроение-2021». – Минск, БНТУ, 17–19 ноября 2021. – 2021. – С. 256–258.
2. Прием сигналов на фоне помех / В. А. Чердынцев [и др.]. – Мн: БГУИР, 1995.
3. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук; под ред. В.И. Борисова: 2-е изд., переработанное и дополненное – М.: РадиоСофт, 2008. – 512 с.