

ПЕРЕДАЧА И ЗАЩИТА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

УДК 621.395

СРАВНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ХУРГИНА-ЯКОВЛЕВА И ТЕОРЕМЫ В.А. КОТЕЛЬНИКОВА

В.Т. Дмитриев, Х.Ш. Ву
Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина, г. Рязань

Ключевые слова: помехоустойчивость, представление Хургина-Яковлева, многоканальная система, отношение сигнал-шум

В современных радиосистемах критически важными являются помехоустойчивость и эффективность передачи. Для решения этой задачи исследуется модификация алгоритма Хургина-Яковлева. Цель работы – сравнить помехоустойчивость многоканальных систем с предложенной модификацией и системой, основанной на теореме Котельникова, и оценить достигнутый выигрыш.

В отличие от классического подхода, основанного на теореме В.А. Котельникова, модифицированный алгоритм использует параллельную обработку отсчётов сигнала и его производных [1]. Для определения выигрыша помехоустойчивости многоканальной системы передачи, основанной на модификации данного алгоритма, в качестве модели шума выбран аддитивный белый гауссовский шум, как наиболее распространённая модель для анализа. Определение выигрыша помехоустойчивости осуществлялось путём сравнительного анализа отношения сигнал/шум на выходе данной системы Q_X с аналогичной системой, функционирующей на основе теоремы В.А. Котельникова Q_K , по формуле:

$$G = Q_X / Q_K = (M_{cp,c} / M_{cp,ш_X}) / (M_{cp,c} / M_{cp,ш_K}) = M_{cp,ш_K} / M_{cp,ш_X}, \quad (1)$$

где $M_{cp,c}$ - мощность сигнала на входе и выходе систем передачи, основанных на теореме В.А. Котельникова и предложенной модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым, определенных по следующей формуле:

$$M_{cp.c} = H \left(\sum_{i=0}^{2L-1} |S_c(i)|^2 / 2L \right),$$

где $H(\cdot)$ – оператор усреднения по совокупности возможных реализаций, $S_c(i)$ – спектры сигнала на выходе систем передачи.

Для оценки эффективности предложенной модификации необходимо определить среднюю мощность шума на выходе систем передачи, использующих как классический подход на основе теоремы В.А. Котельникова, так и предложенную модификацию (с учетом двухканальной, трехканальной и четырехканальной реализации системы передачи). Рассмотрим сначала реализацию модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым в двухканальной системе. Система использует дискретный входной сигнал длиной $2L$ отсчетов, обладающий равномерным энергетическим спектром в частотном диапазоне $(0 \dots F_g)$. В работах [2, 3] доказано, что использование алгоритмов обработки на основе предложенной модификации представления речи, при помощи двух различных каналов обработки, необходимо использовать два синтезирующих фильтра, у которых фазочастотные характеристики смещены на $\pi/2$ относительно друг друга. Определим среднюю мощность шума на выходе сумматора. Из формы фазочастотной характеристики синтезирующих фильтров следует, что часть отсчетов шума, проходящих через фильтр, имеют фазовый сдвиг $\pi/2$ в канале производной сигнала, тогда мощность выходного шума суммируется по следующей формуле на выходе синтезирующих фильтров:

$$\vec{M}_{X2} = \vec{M}_{cp.\phi1} + \vec{M}_{cp.\phi2},$$

где $M_{cp.\phi1}$, $M_{cp.\phi2}$ – средняя мощность шума на выходе первого и второго фильтров, которые рассчитываются по формуле:

$$M_{cp.\phi1} = F_g M_{ш}, M_{cp.\phi2} = 2/\pi \cdot F_g M_{ш}.$$

где $M_{ш}$ – входная мощность шума, воздействующая на систему.

В виду ортогональности векторов средней мощности шума на выходе первого и второго фильтров, общая мощность шума на выходе системы определяется как сумма квадратов средних мощностей шума на выходе каждого фильтра по следующей формуле:

$$M_{X2} = \sqrt{M_{cp.\phi1}^2 + M_{cp.\phi2}^2} = 1,185 F_g M_{ш}.$$

Мощность шума на выходе системы передачи на основе теоремы В.А. Котельникова можно записать в следующем виде:

$$M_{K2} = E \left(\sum_{i=0}^{2L-1} |S_{ш_{K2}}(i)|^2 / 2L \right) = 2 F_g M_{ш}.$$

Применение формулы (1) позволяет определить выигрыш помехоустойчивости двухканальной системы передачи на основе модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым относительно системы, основанной на теореме В.А. Котельникова:

$$G = \frac{M_{K2}}{M_{X2}} \quad 1,687 \text{ или } G[\text{дБ}] = 10\log(1,687) = 2,27 \text{ дБ}.$$

Расчеты показывают, что двухканальная система на основе модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым позволяет достичь выигрыш помехоустойчивости в 1,687 раза (что составляет 2,27 дБ) по сравнению с системой, основанной на теореме В.А. Котельникова. Проведя аналогичные расчеты для трехканальной и четырехканальной систем, получим следующие результаты: за счёт использования ортогональности каналов в трёхканальных и четырёхканальных системах на основе модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым, достигается более эффективное подавление помех по сравнению с системами, основанными на теореме Котельникова. Это приводит к повышению помехоустойчивости на 6,2 дБ и 9,72 дБ соответственно для трёхканальных и четырёхканальных систем.

Таким образом, как показано в работе, использование синтезирующих фильтров со сдвигом фазы на 90 градусов создаёт ортогональную систему сигналов. Это обеспечивает независимость каналов и подавление шумов при суммировании. Таким образом, многоканальная система передачи основана на модификации алгоритма предложенного Я.И. Хургиным и В.П. Яковлевым демонстрирует улучшенную помехоустойчивость.

Список использованных источников

1. Дмитриев В.Т. Адаптация кодеков речевых сигналов на основе теоремы В.А. Котельникова и модификации алгоритма Хургина-Яковлева к шумам в канале связи// Цифровая обработка сигналов №2. 2023 – С. 55 – 60.
2. Дмитриев В.Т., Ву Хоанг Шон Применение трехканальной модификации алгоритма Хургина-Яковлева в алгоритмах первичного кодирования речевых сигналов// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. №88. – С.3 -14.
3. Дмитриев В.Т., Лантратов С.Ю. Адаптивный алгоритм кодирования на основе кодека CELP и модификации алгоритма Хургина-Яковлева// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. №88. – С.21 -30.

Дмитриев Владимир Тимурович, д.т.н., доцент, зав. каф. «Радиоуправление и связь», vol77@rambler.ru.

Ву Хоанг Шон, аспирант каф. «Радиоуправление и связь», vuhoangson.adaf@gmail.com.