

УДК 621.391.27:519.81

В.К. Маригодов, проф., д-р техн. наук,

Ю.В. Матвеев, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет,

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА

Рассмотрены принципы построения системы передачи информации, в приемном тракте которой используется теоретико-игровой алгоритм обработки принимаемого сигнала. Произведена оценка эффективности предложенной системы по энергетическому критерию.

Известные системы передачи информации (СПИ), например [1], имеют низкую эффективность в условиях априорной неопределенности и конфликта (радиоэлектронное противодействие). Это объясняется тем, что в приемной части тракта не обеспечивается *оптимизация гарантии* получения требуемой величины отношения сигнал-помеха.

Для решения этой задачи необходимо использовать на приеме минимаксный алгоритм функционирования системы автоматического выбора сигнала, т.е. применять теоретико-игровую оценку эффективности работы приёмного тракта системы передачи информации. Кроме того, в системе [1] процесс определения величины отношения сигнал-помеха в каждом из субканалов на выходе мультиплексора происходит с временной задержкой, что может привести к перерыву в передаче важной информации.

Целью статьи является построение СПИ, которая обладает большей эффективностью по сравнению с системой [1], что достигается применением теоретико-игрового алгоритма приема.

Структурная схема СПИ с реализацией теоретико-игрового алгоритма принимаемого сигнала изображена на рисунке 1. Предложенная система работает следующим образом. С выхода источника информации 1 информационный сигнал параллельно подается на сигнальные входы каждого из предусказывающих фильтров 2, 2-1, 2-2, ..., 2-*n*, АЧХ которых адаптивно изменяются для реализации теоретико-игрового алгоритма функционирования системы передачи информации. С выходов каждого из предусказывающих фильтров оптимально предусказанные сигналы подаются на сигнальные входы модуляторов 3, 3-1, 3-2, ..., 3-*n*, в которых осуществляется амплитудная модуляция поднесущих частот, поступающих к генераторным входам каждого из модуляторов от генераторов поднесущих частот передающего тракта 4, 4-1, 4-2, ..., 4-*n*. Амплитудно-модулированные сигналы каждого из субканалов подаются параллельно на вход канала связи 5.

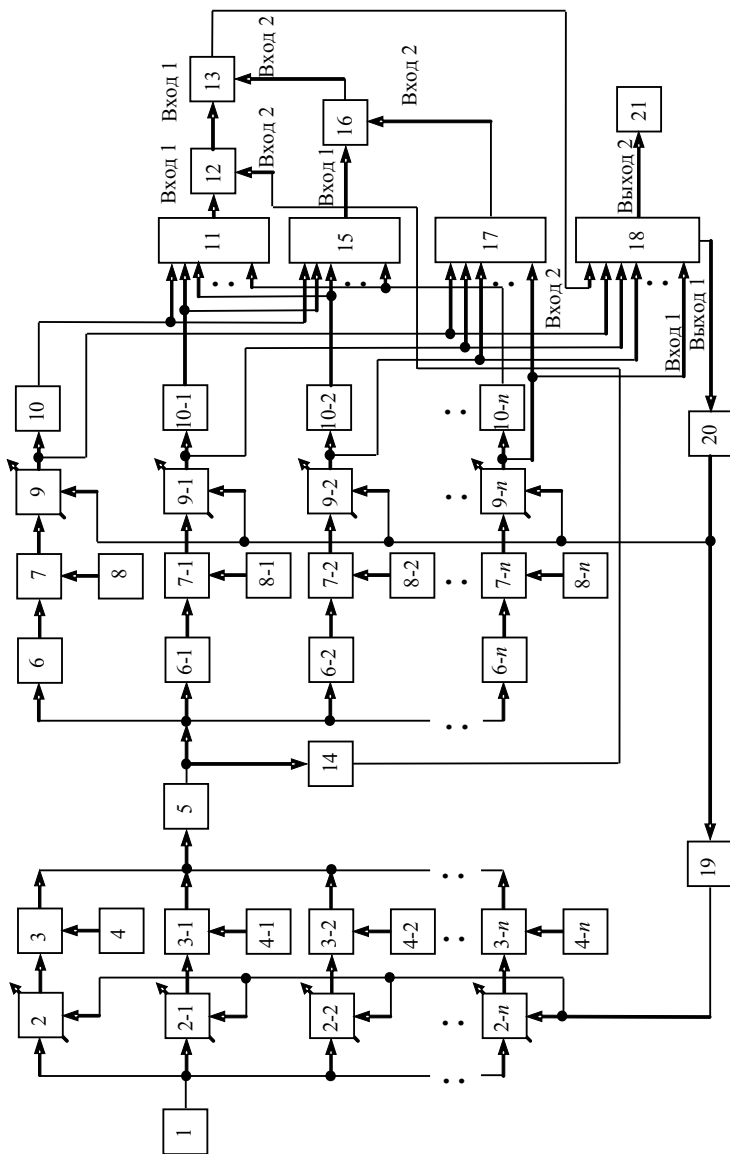


Рисунок 1 – Структурная схема системы передачи информации

В канале связи с помощью модулятора и генератора несущей частоты

формируется групповой (общий) амплитудно-модулированный сигнал. Далее этот сигнал через радиоканал (или линию связи) поступает на демодулятор, на выходе которого с помощью генератора несущей частоты формируется широкополосный сигнал, содержащий амплитудно-модулированные сигналы всех субканалов. Этот сигнал параллельно подается на входы субканальных фильтров 6, 6-1, 6-2,..., 6- n , на выходах которых формируются модулирующие сигналы каждого из субканалов, имеющие такую же форму, как и сигналы на выходах субканальных предсказывающих фильтров. Выходные сигналы субканальных полосовых фильтров подаются на соответствующие входы демодуляторов 7, 7-1, 7-2,..., 7- n , на генераторные входы которых поступают сигналы с выходов генераторов поднесущих частот приемного тракта 8, 8-1, 8-2,..., 8- n . На выходах субканальных демодуляторов формируются модулирующие сигналы, которые претерпели предсказание в субканальных предсказывающих фильтрах. Эти сигналы подаются на сигнальные входы соответствующих корректирующих фильтров 9, 9-1, 9-2,..., 9- n , на выходах которых восстанавливается первоначальная форма сигнала, который существовал на выходе источника информации 1. АЧХ всех корректирующих фильтров адаптируются таким образом, чтобы реализовать теоретико-игровой алгоритм работы приемного тракта СПИ.

С выходов субканальных корректирующих фильтров откорректированные (восстановленные) сигналы подаются на соответствующие входы блоков измерения отношения сигнал-помеха 10, 10-1, 10-2,..., 10- n , с выходов которых измеренные величины отношения сигнал-помеха в каждом из субканалов поступают параллельно к соответствующим входам схем автоматического выбора максимума величины отношения сигнал-помеха 11 и автоматического выбора минимума этого отношения 15.

Структурная схема блока измерения величины отношения сигнал-помеха показана на рисунке 2 [2].

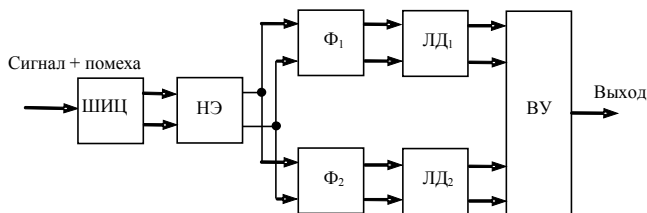


Рисунок 2 - Структурная схема блока измерения величины отношения сигнал-помеха

Блок работает следующим образом. Смесь сигнала и аддитивной помехи подается на вход широкополосной избирательной цепи (ШИЦ). На выходе ШИЦ выделяется группа гармоник сигнала вместе с помехой. Эта группа поступает на нелинейный элемент (НЭ), на выходе которого имеет

место новый сигнал, который является сложным продуктом взаимодействия всех гармонических и флуктуационных составляющих аддитивной смеси сигнала и помехи, поступившей на вход блока. В этом новом сигнале распределение спектральных плотностей таково, что позволяет выделить с помощью узкополосных фильтров Φ_1 и Φ_2 два сигнала, причем процентное содержание сигнала в одном из них всегда меньше, чем в другом, в то время как помехи приблизительно одинаковы.

Выделенные узкополосными фильтрами сигналы детектируются линейными детекторами ЛД₁ и ЛД₂, причем детектирование производится разнополярно, и затем поступают на входы вычитающего устройства ВУ, где полученные в результате детектирования постоянные составляющие вычитаются одна из другой. Произведённое таким образом вычитание одного сигнала из другого обеспечивает компенсацию гармоник полезного сигнала и формирует разностный сигнал постоянного тока, величина которого приблизительно пропорциональна величине помехи и не зависит от вида передаваемого сигнала. Сигнал с выхода ВУ поступает к измерительному прибору, определяющему величину отношения сигнал-помеха.

Структурная схема автоматического выбора максимума величины отношения сигнал-помеха изображена на рисунке 3 [3].

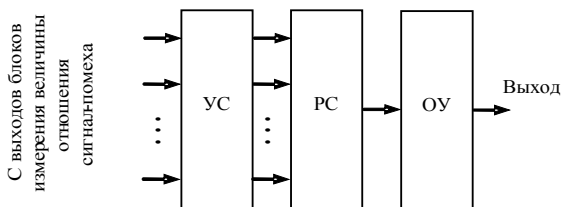


Рисунок 3 – Структурная схема автоматического выбора максимума величины отношения сигнал-помеха: УС – устройство сравнения; РС – решающая схема; ОУ – оконечное устройство

Схема работает следующим образом. На входы устройства сравнения (УС) поступают сигналы с выходов блоков измерения величины отношения сигнал-помеха, которые пропорциональны этому отношению. Методом автовыбора в УС осуществляется сравнение в реальном масштабе времени величин отношения сигнал-помеха в каждом из субканалов. После чего с помощью решающей схемы (РС) ко входу оконечного устройства (ОУ) подключается тот субканал, который обеспечивает наибольшее значение отношения сигнал-помеха. Оконечное устройство в принципе может представлять коммутатор субканалов, который управляется решающей схемой. Такой коммутатор подключает к выходу субканал, обладающий наибольшей помехоустойчивостью.

Схема автоматического выбора минимума величины отношения сигнал-

помеха 15 (рисунок 1) аналогична схеме рисунка 3, но в ней реализуется авто-выбор не максимальной величины упомянутого отношения, а минимальной.

Выходные сигналы схем 11 и 15 (рисунок 1) поступают на первые входы (Вход 1) автоматных оптимизаторов 12 и 16. На выходах схем 11 и 15 формируются величины соответственно $\max_K S$ и $\min_N S$, где S – величина отношения сигнал-помеха, а K означает, что максимизация проводится на основе предсказания и корректирования, N – означает, что минимизация реализуется на базе выбора соответствующей спектральной плотности аддитивной помехи $N(\omega)$, которая действует в канале связи.

На выходах автоматных оптимизаторов 12 и 16 вычисляются соответственно величины $\min_N \max_K S$ и $\max_K \min_N S$. Для получения первой из них на второй вход автоматного оптимизатора 12 (Вход 2) поступает сигнал с выхода блока измерения помехи 14, который пропорционален величине помехи на выходе канала связи 5. Схема блока измерения величины помехи аналогична схеме рисунка 2. На второй вход (Вход 2) автоматного оптимизатора 16 подается сигнал с выхода блока управления 17, на входы которого поступают сигналы с выходов субканальных корректирующих фильтров 10, 10-1, 10-2, ..., 10- n . Таким образом, на выходе автоматного оптимизатора 16 формируется величина $\max_K \min_N S$.

На рисунке 4 изображена структурная схема автоматного оптимизатора в виде системы с формируемой структурой коллектива независимых автоматов [4].

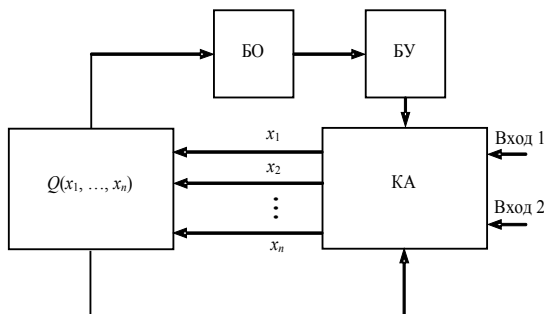


Рисунок 4 - Автоматный оптимизатор как система поиска с формируемой структурой коллектива независимых автоматов

Здесь КА – коллектив независимых автоматов-дублеров, число которых намного больше числа переменных n , поступающих на входы автоматных оптимизаторов 12 и 16; БО – блок оценки работы системы, в котором по значениям оптимизируемой или минимизируемой функции (входы 1 и 2

соответственно) обрабатывается так называемый коэффициент удовлетворенности $Q(\cdot)$ работой автоматного оптимизатора; БУ – блок управления системой в зависимости от значения $Q(\cdot)$ управляет процессом формирования структуры КА путем замены одних автоматов-дублеров другими, а также присоединением или отключением автоматов, параллельно работающих на каждом из каналов.

Блоки БО и БУ определяют целенаправленное поведение всей системы (рисунок 4), используя для этого информацию об успешности работы отдельных автоматов на нескольких предыдущих шагах поиска.

С выходов автоматных оптимизаторов 12 и 16 (рисунок 1) сигналы подаются соответственно на первый (Вход 1) и второй (Вход 2) блока сравнения 13, а с его выхода результат сравнения поступает на второй вход (Вход 2) решающей схемы 18, первый выход которой (Выход 1) обеспечивает сигнал управления, который через блок управления 20 поступает на управляющие входы корректирующих фильтров 9, 9-1, 9-2, ..., 9- n для адаптивной регулировки их АЧХ согласно теоретико-игровому алгоритму работы системы передачи информации, а также через канал обратной связи 19 – на управляющие входы предсказывающих фильтров 2, 2-1, 2-2, ..., 2- n для адаптивной регулировки их АЧХ. При этом решающая схема 18 функционирует таким образом, что информационный сигнал на втором её выходе (Выход 2) подается на вход приемника информации 21 только тогда, когда выполняется неравенство

$$\min_N \max_K S \geq \max_K \min_N S.$$

Для обеспечения процесса приема информации на первый вход решающей схемы 18 (Вход 1) подаются сигналы с соответствующих выходов корректирующих фильтров.

Оценим эффективность системы передачи информации (рисунок 1). Поскольку в такой СПИ субканальные предсказывающие и корректирующие фильтры обладают не взаимнообратными АЧХ, то эффективность предсказания и корректирования можно оценить с помощью выражения [5]

$$S_{\max} = \frac{k^2}{P_c} \int_0^{\Delta\omega} \frac{G^2(\omega) |K_1(j\omega)|_{\text{opt}}^4}{N(\omega)} d\omega, \quad (1)$$

где k^2 – коэффициент, характеризующий ослабление сигнала в канале связи; P_c – средняя мощность сигнала на входе субканального предсказывающего фильтра; $G(\omega)$ – спектральная плотность мощности предсказываемого сигнала; $N(\omega)$ – спектральная плотность аддитивной помехи, действующей в канале связи; $|K_1(j\omega)|_{\text{opt}}$ – АЧХ оптимального предсказывающего фильтра.

Если подставить в (1) выражение для оптимальной АЧХ предсказыва-

ющего фильтра [5]

$$|K_1(j\omega)|_{\text{opt}}^2 = \frac{N(\omega) \cdot P_c}{G(\omega) \cdot P_n}, \quad (2)$$

где P_n – средняя мощность помехи, и наихудший спектр помехи

$$N(\omega)_{\min} = G(\omega) |K_1(j\omega)|^2 \cdot \frac{P_n}{P_c}, \quad (3)$$

то получаем

$$S_{\max} = \max S(K_1, N) = \min S(K_1, N) = \frac{P_c}{P_n} \cdot k^2. \quad (4)$$

В реальных системах передачи информации почти всегда выполняется неравенство $P_c > P_n$. Пусть в условиях удовлетворительного качества передачи информации $P_c/P_n = 40$, $k^2 = 0,1$. При этом из формулы (4) получаем $S_{\max} = 4$ или $10 \lg 4 = 6 \text{ дБ}$. В случае учета АЧХ псофометрического фильтра, оценивающего “взвешивание” помехи в приемном тракте, эффективность системы может существенно увеличиться.

Задачами дальнейших исследований в данном направлении могут быть использование разнесенного приема с автовыбором и замена сложных схем автоматных оптимизаторов устройствами поиска экстремальных значений сигнала и помехи.

Библиографический список

1. Пат. 67385А Україна, МКП⁷ Н04В1/62. Пристрій для передачі і приймання інформації / О.О. Кисельов, В.К. Марігодов, Ю.В. Матвеев (Україна). — № 2003098382; Заяв. 11. 09. 2003; Опубл. 15. 06. 2004, Бюл. № 6.
2. А.с. 146367 СССР, Класс 21 а⁴, 71. Устройство для измерения отношения сигнал-помеха / Ю.Г. Миненко (СССР). — № 695604 / 26; Заяв. 1. 02. 1961; Опубл. 6. 06. 1962, Бюл. № 8.
3. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства: Учеб. пособие для вузов / Б. М. Богданович, Н.И. Окулич. — Минск: Вышэйш. шк., 1991. — 428 с.
4. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования: Учеб. пособие для вузов / Д.И. Батищев. — М.: Радио и связь, 1984. — 248 с.
5. Маригодов В.К. Теоретико-игровая оценка эффективности предсказания и корректирования сигналов / В.К. Маригодов // Радиотехника. — 1981. — Т.36. — № 3. — С. 64 – 65.

Поступила в редакцию 6.02.2006 г.