

УДК 621.391.822:519.81

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

Г.А. Тихонов, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫЙ РАДИОПРИЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОГО АЛГОРИТМА

Произведена оценка эффективности системы пространственно-разнесенного радиоприема, в которой использован теоретико-игровой алгоритм обработки принимаемых сигналов в каждой из ветвей разнесения. Построен график зависимости цены игры от величины отношения мощностей сигнала и помехи на выходе главного линейного тракта приемной системы.

Ключевые слова: система пространственно-разнесенного радиоприема, отношение сигнал-помеха, помехоустойчивость, оптимальная линейная фильтрация, теоретико-игровой алгоритм обработки сигналов.

Известны системы пространственно-разнесенного радиоприема, в которых применяется автоматический выбор наибольшего значения величины отношения сигнал-помеха в каждой ветви разнесения на выходе многоканальной системы [1, 2]. Применение теоретико-игрового подхода для обработки принимаемых сигналов исследовано в [3, 4]. Основные недостатки систем радиоприема [3, 4] заключаются в следующем:

- алгоритм оптимальной линейной фильтрации сигналов в ветвях разнесения используется дважды: один раз при формировании цены игры, а второй раз перед детектированием;
- анализаторы мгновенных спектров сигнала и аддитивной помехи обладают относительно низкой точностью, что приводит к погрешности оценки;
- применение мультиплексоров и блоков формирования сигнала обнуления в схеме определения максимума напряжения сигнала в ветвях разнесения в значительной степени усложняет радиоприемную систему;
- не исследовано, влияние величины отношения сигнал-помеха на значение цены игры.

Цель статьи заключается в устранении указанных недостатков путем упрощения некоторых блоков и проведения анализа эффективности системы радиоприема по сравнению с другими системами, в которых используется пространственно-разнесенный прием сигналов.

Структурная схема системы радиоприема с пространственным разнесением принимаемых сигналов изображена на рисунке 1. Она работает следующим образом.

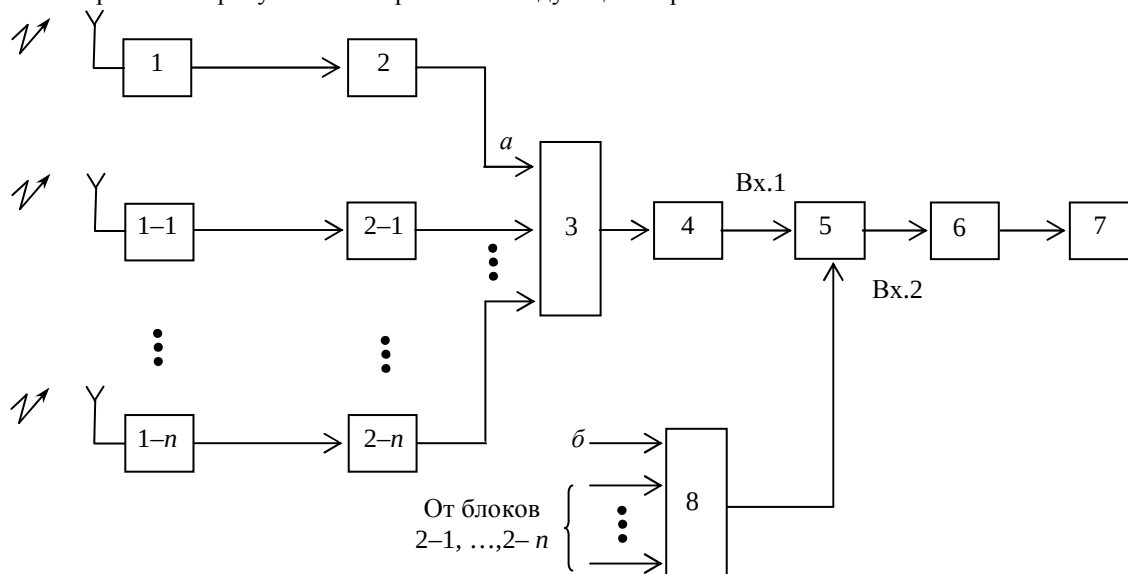


Рисунок 1 — Структурная схема системы пространственно-разнесенного радиоприема

С выхода главных линейных трактов $1, 1 - 1, \dots, 1 - n$ аддитивная смесь сигналов и помех в каждой ветви разнесения поступает в блоки $2, 2 - 1, \dots, 2 - n$, в которых происходит формирование

функции выигрыша (цены игры). Схема такого блока для первой ветви разнесения показана на рисунке 2. С выходов упомянутых блоков сигналы, несущие информацию о цене игры V_i , подаются на входы блока 3, который предназначен для поиска минимального значения цены игры $\min V_i$. Если в системе радиоприема используется оптимальное линейное предсказание и корректирование сигналов или оптимальная линейная фильтрация, то цена игры (минимаксное значение среднеквадратичной ошибки приема) определяется как [2, 4]

$$V = \max_N \min_K \overline{\varepsilon^2}(K, N) = \min_K \max_N \overline{\varepsilon^2}(K, N) = \frac{P_c \cdot P_{\Pi}}{P_c + P_{\Pi}} = \frac{P_c}{1 + q}, \quad (1)$$

где $\overline{\varepsilon^2}$ — среднеквадратичная ошибка; $K = |K(j\omega)|$ — АЧХ оптимального предсказывающего фильтра или оптимального линейного фильтра; $N = N(\omega)$ — спектральная плотность мощности аддитивной помехи; P_c, P_{Π} — средние мощности сигнала и помехи соответственно; q — отношение мощностей сигнала и помехи.

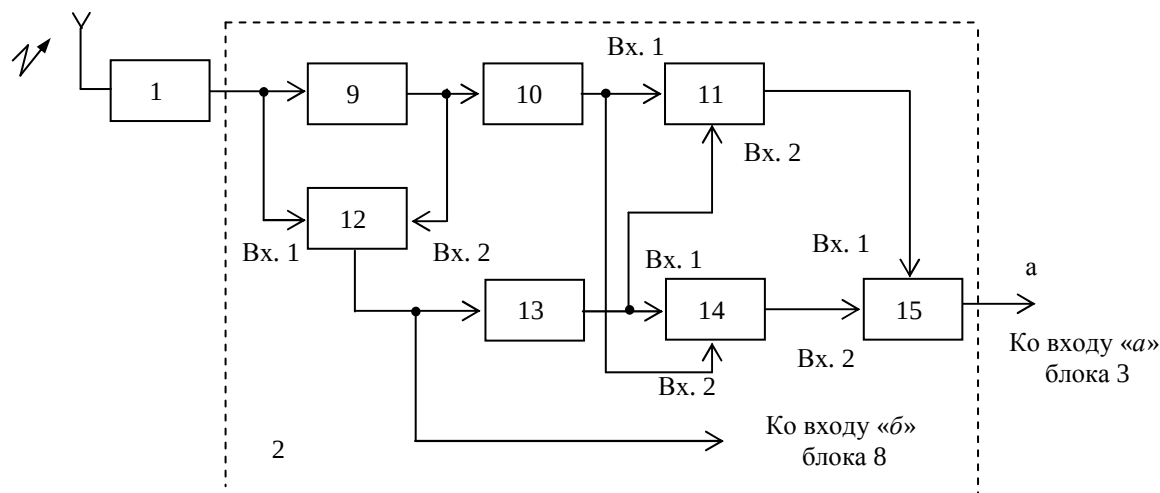


Рисунок 2 — Структурная схема блока формирования цены игры

На рисунке 3 изображен график зависимости цены игры (1) от величины отношения сигнал-помеха. При этом было принято $P_c = 1 \text{ Вт} = \text{const}$.

Из (1) и рисунка 3 следует, что цена игры монотонно уменьшается с ростом q . Значение цены игры формируется для первой ветви разнесения в блоке 2 (рисунок 2). Для этого сигнал и помеха с выхода главного линейного тракта 1 поступают на вход блока измерения напряжения помехи 9. Схема этого блока известна [5]. Аддитивная смесь сигнала и помехи подается на первый вход (Вход 1) блока вычитания 12, на второй вход (Вход 2) которого поступает напряжение помехи с выхода блока 9. Выделенные напряжения сигнала и помехи подаются соответственно на входы квадраторов 10 и 13. С выходов последних сигналы, пропорциональные мощностям сигнала и помехи, подаются соответственно на входы (Вход 1 и Вход 2) блоков умножения 11 и суммирования 14. Выходы этих блоков подключены соответственно ко входам (Вход 1 и Вход 2) блока деления 15, на выходе которого формируется отношение произведения и суммы мощностей сигнала и помехи $(P_c \cdot P_{\Pi}) / (P_c + P_{\Pi})$. Выход блока 15 соединен со входом «а» блока 3 поиска минимального значения цены игры. С выхода этого блока сигнал, несущий информацию о минимальном значении цены игры $\min V$, поступает в блок управления 4 для формирования управляющего сигнала в виде напряжения постоянного тока для воздействия на первый вход (Вход 1) решающей схемы (5), на второй вход которой (Вход 2) поступает напряжение $U_{c, \max}$, сформированное в блоке поиска максимального значения напряжения сигнала. Для его получения напряжение сигнала U_c с выхода блока вычитания 12 подается на вход «б» блока 8. При этом на остальные входы последнего поступают информационные сигналы с выходов блоков вычитания, находящихся в других ветвях разнесения. Решающая схема 5 выполнена на основе транзисторного ключа с дополнительным источником смещения. На выходе ключа полезный сигнал возникает лишь тогда, когда в базовой цепи имеется смещение в виде постоянного напряжения, формируемого на выходе блока управления 4 (Вход 1 блока 5), а также действует максимальное значение полезного сигнала, подаваемое в базовую цепь ключа (Вход 2) с выхода блока 8.

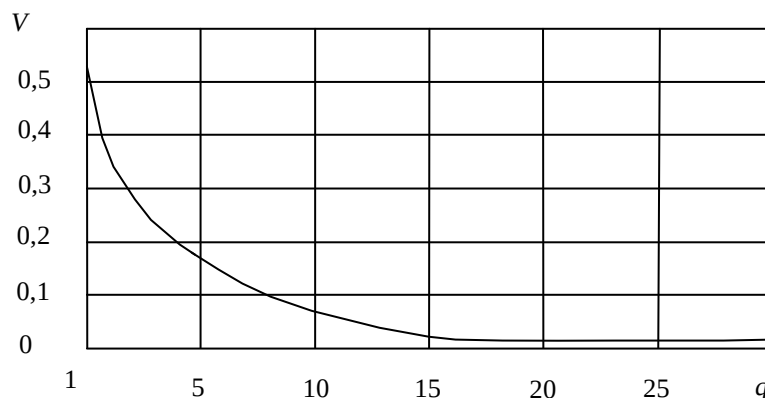


Рисунок 3 — Залежність ціни гри від величини відношення сигнал-помеха

Если в системе разнесенного радиоприема применяется амплитудная демодуляция, то АМ сигнал с выхода решающей схемы поступает на вход детектора 6 и после детектирования моделирующий сигнал подается в воспроизводящее устройство 7.

Оценим выигрыш в эффективности системы радиоприема (рисунок 1) по сравнению с другими системами разнесенного радиоприема [3, 4]. При использовании анализаторов мгновенных спектров сигнала и аддитивной помехи длительность управляющего сигнала τ на выходе анализатора составляет [2]

$$\tau = d / (\xi^2 \Delta f_{ш}), \quad (2)$$

где d — параметр, характеризующий форму АЧХ одного из двух полосовых фильтров анализатора, которые включены на выходе сравнивающего устройства; ξ^2 — среднеквадратичная погрешность анализа; $\Delta f_{ш}$ — эффективная шумовая полоса частот фильтра анализатора.

Если принять $\tau = 10 \text{ мкс}$, $d = 1$ (для прямоугольной формы АЧХ полосового фильтра), $\Delta f_{ш} = 1 \text{ МГц}$, то из (2) получим $\xi^2 = 10 \%$.

Поскольку анализаторы спектров сигнала и помехи обладают одинаковыми погрешностями, то результирующая погрешность находится как

$$\xi_{\Sigma}^2 = \sqrt{(\xi^2)^2 + (\xi^2)^2}. \quad (3)$$

Используя (3), при $\xi^2 = 10 \%$ получаем $\xi_{\Sigma}^2 = 14 \%$. В системе радиоприема (рисунок 1) анализаторы спектров не применяются. Поэтому в ней реализуется выигрыш в погрешности по сравнению с системой [3].

Существенным преимуществом схемы (рисунок 1) является то, что теоретико-игровой алгоритм цены игры формируется в каждой ветви разнесения без предварительного поиска экстремальных значений мощностей сигнала и помехи. Кроме того, исключены адаптивные корректирующие фильтры, которые обладают существенной инерционностью перестройки АЧХ. Блоки выбора минимума цены игры и максимума принимаемого сигнала упрощены путем исключения сложных схем автоматных оптимизаторов.

В блоках 3 и 8 поиска минимального значения цены игры $\min V$ и максимума принимаемого сигнала $\max U_c$ используются диодные схемы, которые имеют заданный порог срабатывания для отпирающего диода. Поэтому соответствующие сигналы на выходах этих блоков возникают мгновенно без задержки во времени, тогда как в системах [3, 4] применяются мультиплексоры и демультимплексоры, обладающие временной задержкой коммутуемых сигналов. Последнее приводит к задержке принимаемой информации, т. е. системы не работают в реальном времени. Кроме того, для функционирования мультиплексора и демультимплексора необходимо иметь цифровые (бинарные) блоки селекции входов и выходов, что в значительной степени усложняет систему разнесенного радиоприема.

Таким образом, рассмотренная система разнесенного радиоприема обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с известными системами. Так, например, в системе с десятью ветвями разнесения задержка принимаемого сигнала в системах [2, 3] составляет 1 мс, что может привести к некоторой потере передаваемой информации. Задачей исследований в данном направлении можно

считать, например, реализацию в каждой ветви разнесения потенциальной помехоустойчивости при воздействии флуктуационных и импульсных помех с произвольным спектром.

Библиографический список использованной литературы

1. Пат. 70134А Україна, МПК⁷Н04К3/00. Спосіб підвищення завадозахищеності багатоканальних систем зв'язку з повторенням / О.О. Кисельов, В.К. Марігодов. — № 20031212628; заяв. 26.12.2003; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.
2. Маригодов В.К. Теоретико-игровой синтез систем передачи и обработки информации / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров, Ю.В. Матвеев; под общ. ред. В.К. Маригодова. — Севастополь: СевНТУ, 2006. — 187 с.
3. Маригодов В.К. Повышение помехоустойчивости многоканальных систем связи с повторением / В.К. Маригодов // Изв. Вузов. Сер. Радиозлектроника. — 2007. — Т. 50. — № 5. — С. 14–22.
4. Маригодов В.К. Система передачи информации с теоретико-игровым алгоритмом обработки сигнала в приемном тракте / В.К. Маригодов, Ю.В. Матвеев // Изв. Вузов. Сер. Радиозлектроника. — 2006. — Т. 49. — № 11. — С. 72–80.
5. А. с. 146367 СССР, МКИ Кл.21 а⁴, 71. Устройство для измерения отношения сигнал/помеха / Ю.Г. Миненко. — № 695604/26; заяв. 01.02.1962; опубл. 06.06.1962, Бюл. № 8.
6. Маригодов В.К. Синтез оптимальных радиосистем с адаптивным предсказанием и корректированием сигналов / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров. — М.: Радио и связь, 1985. — 248 с.

Поступила в редакцию 30.06.2011 г.

Марігодов В.К., Тихонов Г.О. Просторово-рознесене радіоприймання на основі теоретико-ігрового алгоритму

Проведено оцінювання ефективності системи просторово-рознесеного радіоприймання, у якій використовується теоретико-ігровий алгоритм обробки сигналів, що приймаються у кожній з гілок рознесення. Побудовано графік залежності ціни гри від величини відношення потужностей сигналу та завади на виході головного лінійного тракту приймальної системи.

Ключові слова: система просторово-рознесеного радіоприймання, відношення сигнал-завада, завадостійкість, оптимальна лінійна фільтрація, теоретико-ігровий алгоритм обробки сигналів.

Marigodov V.K., Tichonov G.A. The Space-Time Radio Reception on the Basis Game-Theoretical Algorithm

The estimation of efficiency space-time radio reception system with game-theoretical algorithm of processing receiving signals in every branch of separation has been made. Diagram of dependence value of a game from quantity signal-to-noise radio the output central linear of route receiving system has been represented.

Keywords: space-time radio reception system, signal-to-noise radio, optimal linear filtering, game-theoretical algorithm of processing.