

Смирнов А.В. к.т.н., с.н.с., Данилкин Ю. В.

КЛАССИФИКАТОР ПОМЕХОВЫХ СИТУАЦИЙ

Введение. Радиотехнические системы и устройства в большинстве случаев функционируют в сложной постоянно меняющейся радиоэлектронной обстановке (РЭО). Это вызвано множеством причин. Наиболее определяющими из них являются: наличие большого количества естественных аддитивных помех с различными статистическими характеристиками и неудовлетворительная электромагнитная совместимость (ЭМС) самих систем и устройств. Попытки разработчиков радиоэлектронных средств (РЭС) использовать при этом простейшие модели аддитивных помех в виде гауссова шума с равномерной спектральной плотностью все возможности не увеличились успехом. Реальные РЭС при таком подходе имеют рабочие характеристики, которые не удовлетворяли потребителей. В 60-е годы прошлого столетия были синтезированы эволюционно оптимальные нелинейные РЭС при условии малых относительных сигнал/помеха. Они представляли собой последовательно соединенные нелинейный безынерционный четырехполосник (НБЧ) и оптимальное РЭС, синтезированное при условии воздействия нормальной аддитивной помехи [1,2]. Однако практическая реализация таких нелинейных РЭС оказалась невозможной из-за того, что амплитудные характеристики НБЧ являются сложными функциями от плотности вероятности мгновенных значений негауссово аддитивной помехи. При этом требовалось время на получение достоверных оценок этой характеристики

во всем динамическом диапазоне помеховых напряжений оказалось во много раз больше, чем время существования самой помехи. В результате этого потребовалось найти новый подход для практической реализации нелинейных РЭС, работающих в условиях наличия негауссовых аддитивных помех.

В данной работе для этих целей предлагается использовать алгоритм распознавания аддитивных помех, использующих статистические их различия. Это устройство, названное классификатором помеховых ситуаций (КПС), определяет тип помехи и включает в РЭС НБЧ с соответствующей помехе амплитудной характеристикой.

Цель работы. Целью данной работы является разработка и исследование алгоритма КПС, основанного на различии статистических характеристик аддитивных помех. По своей сути КПС представляет собой устройство распознавания образов. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

- произвести выбор набора моделей аддитивных помех, адекватных реальной РЭО;
- выбрать информативный признак классификации (ИПС) помеховой ситуации;
- оценить рабочие характеристики, предложенного алгоритма.

Модели аддитивных помех. Распознавание большого количества различных классов аддитивных помех в КПС затруднительно по следующим причинам: существенно уменьшаются межклассовые расстояния и значительно увеличиваются внутриклассовые расстояния между областями. Поэтому ограничимся тремя классами, которые наиболее выпукло характеризуют все возможные варианты реальных РЭО:

- а) нормальная помеха

$$\omega_{нн}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right]; \quad (1)$$

- б) сосредоточенная по спектру (станционная) помеха

$$\omega_{ст}(x) = \begin{cases} 0, & (-\infty < x < -\sqrt{2}), \\ \frac{1}{\pi\sqrt{2-x^2}}, & (-\sqrt{2} < x < \sqrt{2}), \\ 0, & (\sqrt{2} < x < \infty); \end{cases} \quad (2)$$

- в) сосредоточенная во времени (импульсная) помеха

$$\omega_{вв}(x) = \frac{\sqrt{2}}{2} \exp[-\sqrt{2}|x|] \quad (3)$$

В (1), (2) – закон Арксинуса, (3) – закон Ляпунса положено: $\sigma_{нн}^2 = \sigma_{ст}^2 = \sigma_{вв}^2 = 1$. Если дисперсии аддитивных помех будут различными, то возникнет неоднозначность решений КПС.

Некая искусственность принятых моделей позволяет определить потенциальные возможности исследуемого КПС. В реальности могут быть ситуации, когда одновременно присутствует не одна, а несколько стационарных помех или помехи б) или в) представляет собой совокупность с нормальным шумом. Во всех этих случаях будет происходить нормализация этих помех. Распознавание помех с помощью КПС в этих случаях ухудшится.

Признак распознавания. Анализ (1), (2) и (3) показал, что плотности вероятностей мгновенных значений помех отличаются по своей форме (вогнутостью или выпуклостью при $x = 0$). Это говорит о том, что в качестве ИПК можно использовать коэффициент эксцесса [3]. Он определяется как

$$\gamma_2 = \frac{M_4}{\sigma_4^2} - 3, \quad (4)$$

где: M_4 — центральная момент 4-го порядка реализации аддитивной помехи; $\sigma_4^2 \equiv 1$ — дисперсия аддитивной помехи. Поскольку все рассматриваемые аддитивные помехи на выходе УПЧ РПРВ центрированы, то $M_4 = m_4$, т.е. начальному моменту 4-го порядка и, тогда, имеем:

$$\gamma_2 = m_4 - 3, \quad (4)$$

Значения γ_2 для рассматриваемых помех соответственно равны [4]

$$\gamma_{2a1} = 0; \quad \gamma_{2a2} = -1.5 \quad \text{и} \quad \gamma_{2a3} = 3$$

Рабочие характеристики КПС. Дисперсии оценок γ_2 можно определить [4]

$$D\{\gamma_2\} = \frac{m_8 - m_4^2}{N}, \quad (6)$$

где: m_8 — 8-й начальный момент реализаций аддитивной помехи; N — число независимых отсчетов. Тогда, на основании (6), имеем

$$D\{\gamma_2\} = \frac{76}{N}; \quad D\{\gamma_2\} = \frac{2875}{N} \quad \text{и} \quad D\{\gamma_2\} = \frac{2884}{N}$$

При достаточно больших значениях N апостериорные плотности вероятностей оценок γ_2 можно считать нормальными.

На рис. 1 проведены апостериорные плотности вероятностей мгновенных значений оценок γ_2 и пороги принятия решений, соответствующие критерию идеального наблюдателя. Заштрихованные области соответствуют вероятности ошибок распознавания КПС.

На рис. 2. Показана зависимость вероятности ошибочных решений КПС от величины N . При N — это $P_{ош} = 0.1$. Считается, что априорные вероятности появления все трех классов аддитивных помех одинаковые, т.е. $P_{a1} = P_{a2} = P_{a3} = 0.33$.

Зная величины максимальных интервалов автокорреляции реализации аддитивных помех $\tau_{\text{автокорр. макс}}$, можно перейти от N и M_4 к абсолютному времени, т.е.

$$(\tau_{\text{автокорр. макс}} N + \tau_{\text{автокорр. макс}} M_4) = T \leq T_0, \quad (8)$$

где: T_0 — соответственно время работы нелинейного РЭС и среднее время смены помеховых ситуаций.

Эффективность функционирования нелинейного РЭС определяется соотношением величины N КПС и M_4 — линейной части РЭС (оптимальной при воздействии гауссовской аддитивной помехи). Чем меньше величина N (в это время линейная часть РЭС заблокирована) и чем больше M_4 , тем эффективнее нелинейное подавление не-гауссовской помехи при ее правильной классификации с помощью КПС.

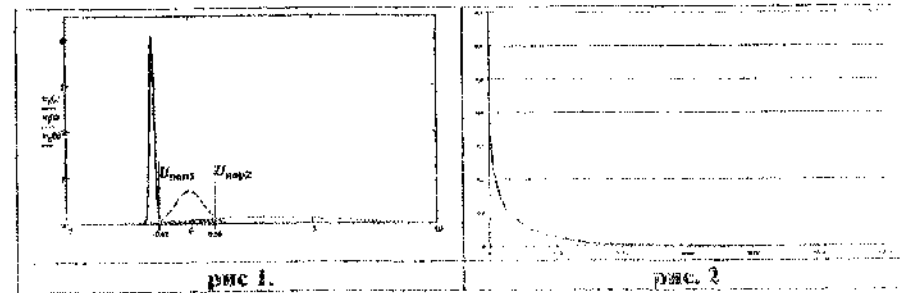
Алгоритм принятия решений КПС на основе оценок γ_2 и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \text{если } \gamma_2 \leq U_{\text{пор1}}, \text{ то помеха (1)} \\ \text{если } U_{\text{пор2}} \geq \gamma_2 > U_{\text{пор1}}, \text{ то помеха (2)} \\ \text{если } \gamma_2 > U_{\text{пор2}}, \text{ то помеха (3)} \end{cases} \quad (7)$$

где: $U_{\text{пор1}}, U_{\text{пор2}}$ — пороги принятия решений по критерию идеального наблюдателя

При $P_{ош} = 0.1$ и $P_{a1} = P_{a2} = P_{a3} = 0.33$ значения порогов принятия решений следующие:

$$U_{\text{пор1}} = -0.625 \quad \text{и} \quad U_{\text{пор2}} = 0.56$$



Выводы. Для распознавания трех классов аддитивных помех (нормальная, стационарная и импульсная) возможно использовать КПС на основе оценок их коэффициентов эксцесса. При этом необходимо обязательно применять нормировку реализаций аддитивных помех по дисперсии. Использование подхода по реализации нелинейного РЭС, асимптотически оптимального при малых отклонениях сигнал/помеха, позволяет произвести автоматизированную классификацию аддитивных

вах помех с помощью КПС. Выходом КПС является управляющее напряжение, которое включает НБЧ, соответствующий разнонаправленной аддитивной гауссовской помехи. Естественно, что при правильной классификации гауссовской помехи, характеристике НБЧ должна быть линейной с коэффициентом передачи равным единице. Очевидно, что такой алгоритм КПС будет работоспособен при достаточном редких сменах помеховых ситуациях и выполнении условия (8).

Литература.

1. Антонов О. Е. Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовских помехах. – Радиотехника и электроника, 1981, т. 12, №4, с. 579-587.
2. Валеев В. Г., Гонопольский В. Б. Метод амплитудного подавления негауссовских помех. – Радиотехника и электроника, 1981, т. 26, №11, с. 2301.
3. Фомин А. Ф., Ваванов Ю. В. Помехоустойчивость систем железно-дорожной радиосвязи. – М.: Транспорт, 1987. – 295 с.
4. Горшков В. Т., Журавлев А. Г., Тихонов В. Н. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи /Под ред. В. Н. Тихонова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1980. – 544 с.