

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Одной из основных задач оптико-электронных систем является обнаружение стохастических сигналов на фоне шума неизвестной мощности [1, 2].

Во многих практических приложениях при обнаружении сигналов в условиях априорной неопределенности существуют эффективные подходы, которые позволяют синтезировать правила обнаружения для априорно известных видов распределений сигналов и помех и обладают высокой эффективностью и устойчивостью качественных показателей при произвольном изменении неизвестных параметров этих распределений.

На рис. 1 приведены гистограммы стохастического сигнала на фоне шума в различных кадрах, сформированных оптико-электронной системой. Амплитуды сигналов, сформированные каждым фоточувствительным элементом в различных кадрах, являются случайной величиной. Это обусловлено квантовой природой оптического излучения и принципами взаимодействия квантов света с фоточувствительными элементами.

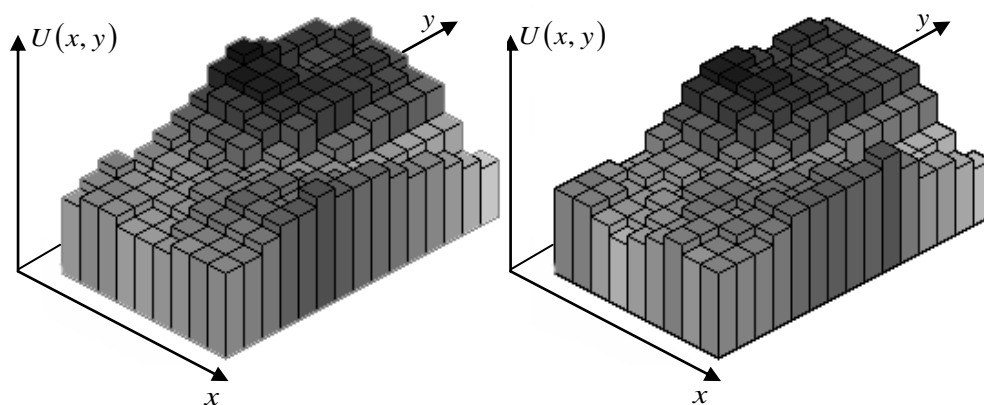


Рис. 1. Гистограммы интенсивности амплитуды сигналов, зарегистрированных в последовательных телевизионных кадрах

Рабочие характеристики оптико-электронных систем, алгоритмы обнаружения, как правило, синтезируются для заданной величины отношения сигнал/шум, определяемой соотношением:

$$\varphi = \frac{\bar{U}_C}{\sqrt{D_{C+\Phi}}} . \quad (1)$$

В выражение (1) входят следующие величины:
среднее значение

$$\bar{U} = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n U(x_i, y_j); \quad (2)$$

дисперсия

$$\begin{aligned} D[U(x, y)] &= [\overline{U(x, y) - \bar{U}}]^2 = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [U(x_i, y_j) - \bar{U}]^2 = \\ &= \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n U^2(x_i, y_j) - \bar{U}^2. \end{aligned} \quad (3)$$

В [3, 4] фоновая и сигнальная составляющие описываются нормальным законом распределения, и характеристики обнаружения объектов вычисляются согласно выражениям:
условная вероятность правильного обнаружения сигнала:

$$d = \int_{U_{nop}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{C+\Phi}}} e^{-\frac{(U-\bar{U}_{C+\Phi})^2}{2\sigma_{C+\Phi}^2}} dU, \quad (4)$$

условная вероятность появления ошибки:

$$f = \int_{U_{nop}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Phi}}} e^{-\frac{(U-\bar{U}_{\Phi})^2}{2\sigma_{\Phi}^2}} dU. \quad (5)$$

Графически характеристики обнаружения оптико-электронной системы представлены на рис. 2.

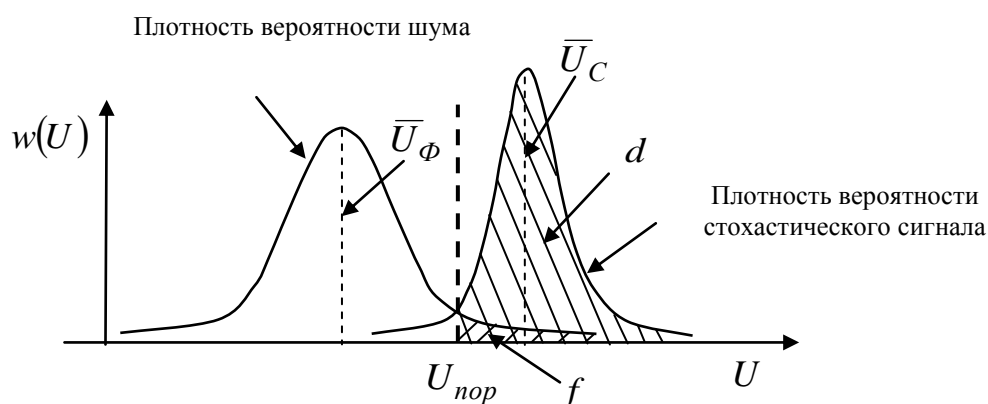


Рис. 2. Плотность вероятности сигнальной и фоновой составляющих

Однако на практике возможны случаи, когда истинные функции распределения отличаются от предполагаемых. В этих случаях не все алгоритмы обнаружения оказываются устойчивыми даже при незначительных отличиях. В работах [5] показано, что во многих случаях наборы данных содержат аномальные выбросы, обусловленные наличием в распределениях более «тяжелых» по сравнению с нормальными «хвостов». Они могут вызываться воздействием дополнительных возмущающих факторов на среду распространения сигналов, квантовой структурой сигналов и помехи, флуктуациями коэффициентов передачи приемных трактов и другими причинами.

Цель работы – исследование статистических характеристик сигналов и помех, проведение статистического анализа для определения закона распределения случайной величины, что позволит использовать известные для этого закона факты для изучения поведения случайной величины и оптимизировать алгоритмы обнаружения полезных сигналов в оптико-электронных системах.

В работах [6, 7] принято, что принимаемые оптико-электронной системой стохастические сигнал и помеха подчиняются пуассоновской статистике.

Проведены эксперименты регистрации стохастического оптического сигнала, который можно описать случайной величиной числа появлений различных значений амплитуды сигналов фоточувствительных элементов. Найденные среднее их значение, выборочная дисперсия показали, что выборочная дисперсия этой случайной величины во много раз превосходит выборочное среднее значение (рис. 3). Коэффициент асимметрии $A_S = 0,82$; коэффи-

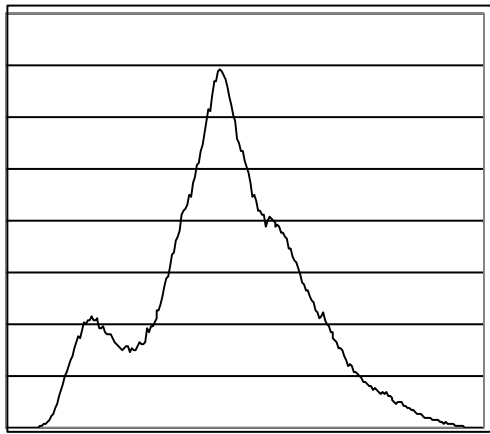


Рис.3. Плотность распределения стохастического сигнала

циент эксцесса $E_x = 0,67$; математическое ожидание данной случайной величины $M(x) = 113$; дисперсия $D(x) = 989$.

Поэтому применяемый закон Пуассона не адекватно описывает случайную величину, так как она подчиняется гипергеометрическому закону распределения:

$$p(x; N, n, k) = \frac{C_k^x \cdot C_{N-k}^{n-x}}{C_N^n}, \quad (6)$$

где N – общее число элементов в выборке, n – число возможных значений амплитуд, k – фиксированное количество фоточувствительных элементов, x – случайная величина, характеризующая число появления

данного значения амплитуды сигнала в фоточувствительных элементах. Данное распределение дискретное и характеризуется тремя параметрами.

Эксперименты, проводимые на статистически значимом количестве измерений принимаемого стохастического сигнала, показали, что дисперсии значительно превышают число 9, что позволяет аппроксимировать данное распределение выражением [8, 9]:

$$p(x; N, n, k) \approx \frac{1}{\sigma} \varphi\left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (7)$$

где

$$\bar{x} = \frac{nk}{N} = n\theta, \quad \sigma = \sqrt{n\theta(1-\theta)\left(1 - \frac{n-1}{N-1}\right)}, \quad \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}},$$

тогда

$$p(x_1 \leq X \leq x_2; N, n, k) \approx \Phi_0\left(\frac{x_2 + \frac{1}{2} - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi_0\left(\frac{x_1 - \frac{1}{2} - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (8)$$

где

$$\Phi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Как показал дальнейший статистический анализ с использованием эмпирических оценок квадрата асимметрии и эксцесса, распределение случайной величины находится в области β -распределения. Принимая для дальнейшего упрощения вычислений, что распределение непрерывно, можно представить модель распределения случайной величины в виде

$$f(x) = \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{b^{2+\alpha}} x(b-x)^\alpha, \quad (\alpha \geq -1),$$

где в нашем случае параметр сдвига $b = 256$,

(α - параметр формы).

Данная модель является частным случаем обобщённого β -распределения и в содержит только один параметр формы – α .

Функция распределения случайной величины для данной модели имеет вид

$$F(x) = 1 - \frac{(b-x)^{\alpha+1}(b+(1+\alpha)x)}{b^{2+\alpha}}, \quad (9)$$

где $0 \leq x \leq b$.

Математическое ожидание данной случайной величины $M(x) = \frac{2b}{\alpha + 3}$, дисперсия:

$$D(x) = \frac{2b^2(1+\alpha)}{(\alpha+3)^2(\alpha+4)}.$$

Коэффициенты вариации определяются по формуле $V = \sqrt{\frac{1+\alpha}{2(4+\alpha)}}$, коэффициент асимметрии $A_s = \frac{2(\alpha-1)\sqrt{4+\alpha}}{(5+\alpha)\sqrt{2(\alpha+1)}}$, коэффициент эксцесса: $E_x = \frac{6(\alpha+4)(\alpha^2+2\alpha+3)}{(\alpha+1)(\alpha+5)(\alpha+6)}$.

Выводы

Применяемые для улучшения качества информации в оптико-электронных системах методы предварительной обработки осуществляются с использованием адаптивных аналоговых и цифровых преобразований пространственных сигналов. Аналоговые и цифровые методы обработки изображений включают в себя пространственно-координатные и пространственно-спектральные методы. На каждом этапе адаптивной коррекции принимаемый стохастический сигнал может изменять свои статистические характеристики. В работах [10, 11] представлены результаты исследований статистики пространственно-временных сигналов на различных этапах преобразования стохастического сигнала. Методы обнаружения стохастического сигнала на фоне шума построены на статистическом анализе принимаемой аддитивной смеси. Принимая во внимание аппроксимацию сигнальной и шумовой составляющей законами распределения имеющими «тяжелые» хвосты, правила обнаружения, синтезированные на основе симметричных законов распределения могут быть не эффективными, так как условная вероятность появления ошибки может значительно увеличиваться (в сотни раз). Представляется целесообразным проведение экспериментальных исследований статистики стохастических сигналов в оптико-электронных системах на этапах спектральных перераспределений энергии, линейных и нелинейных методов фильтрации и дифференцирования, направленных на улучшение параметров изображений и оценки характеристик обнаружения объектов с целью создания более адекватных методов обработки.

Список литературы: 1. Стрелкова, Т.А., Стрелков, А.И., Лытюга, А.П. Состояние и перспективы развития оптико-электронных приборов специального назначения // 2-й Междунар. Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2005). Сб. науч. тр. – Харьков : АН ПРЭ, ХНУРЭ. – 2005. – Т. 2. – С. 469-470. 2. Стрелкова, Т.А., Стрелков, А.И., Лытюга, А.П., Жилин, Е.И. Возможности обнаружения объектов оптико-электронными системами в условиях сильных аддитивных и мультипликативных помех VI International Conference on Optoelectronic Information Technologies “Photonics-ODS 2008”, Ukraine, Vinnytsia, VNTU, 30 September – 2 October, 2008. – P. 22. 3. Оптическая локация. Теоретические основы приема и обработки оптических сигналов / под ред. А.И. Стрелкова. – Х. : Апостроф, 2010. – 312 с. 4. Мосягин, Г.М., Немтинов, В.Б., Лебедев, Е.Н. Теория оптико-электронных систем. – М., 1990. – 432 с. 5. Методы статистической обработки изображений полей : Межвуз. сб. науч. трудов. 1986. – 134 с. 6. Адаптивная помехозащита оптико-электронных информационных систем / Никитин В.М., Фомин В.Н., Николаев А.И., Борисенков И.Л. – Белгород, 2008. – 196 с. 7. Шереметьев, А.Г. Статистическая теория лазерной связи. – М., 1971. – 264 с. 8. Абезгауз, Г.Г., Тронь, А.П., Копенкин, Ю.Н. Справочник по вероятностным расчётам.. – М. : Военное изд-во министерства обороны СССР, 1966. – 408 с. 9. Справочник по надёжности / под ред. Б.Р. Левина. – М. : Мир, 1969. – Т. 1. – 333 с. 10. Яновский, Ю.А. Статистический анализ изображений в телемедицинских информационных сетях // 14-й Міжнар. молодіжний форум „Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.” Зб. матеріалів форуму. Ч. 1. – Харків : ХНУРЕ, 25 -27 березня, 2010. – С. 132. 11. Стрелкова, Т.А., Стрелков, А.И., Лытюга, А.П., Яновский, Ю.А. Исследование качества изображений при передаче в телемедицинских информационных сетях // Сучасні проблеми науки та освіти. Матеріали 8-ї Міжнар. міждисциплінарної наук.-практ. конф. 30 квітня-10 травня, 2009 р., м. Алушта / Українська Асоціація „Жінки в науці та освіті”. – Харків : Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2009. – С. 97-98.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 12.09.2012