

тродинамики; № 599. 12. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. К.: Наук. думка, 1973. 191 с. 13. Марченко Б.Г., Щербак Л.Н. Линейные случайные процессы и их приложения. К.: Наук. думка, 1975. 143 с.

Поступила в редколлегию 06.10.98

Кривенко Станислав Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, начальник сектора АО НИИРИ. Научные интересы – радиотехнические системы технической диагностики. Увлечения и хобби: туризм, историческая литература. Адрес: Украина, 310054, Харьков, ул. Академика Павлова, 271, тел. 26-52-60.

УДК 681.007.05

А.В. ЛИПАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ КОРРЕЛЯЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При построении систем распознавания, слежения, наблюдения часто применяются алгоритмы корреляционного распознавания изображений. Всем этим системам приходится работать в реальных условиях, а это означает, что распознавание ведется в условиях воздействия помех. В связи с постоянно возрастающим интересом к подобным системам и необходимостью их внедрения в различных сферах производства, науки, техники вопрос об их помехоустойчивости становится весьма актуальным.

В общем случае помехи можно разделить на два класса: локальные и случайные. К локальным относятся пятна, появляющиеся на изображении в результате засветки или затенения некоторой части изображения. К случайным относятся помехи, которые расположены по всему изображению и зачастую могут быть описаны одним из законов распределения [1]. Эти помехи могут быть аддитивными, реже мультипликативными.

Предположим, что изображение описывается непрерывной функцией яркости $B(x, y, t)$ в пространстве и времени. Его можно представить как аддитивную смесь:

$$B(x, y, t) = B_0(x, y, t) + r(x, y, t), \quad (1)$$

где $B(x, y, t)$ – функция яркости реального изображения с помехами; $B_0(x, y, t)$ – функция яркости изображения без воздействия помех; $r(x, y, t)$ – помехи в некоторый момент времени t .

Формула (1) описывает реальное изображение с аддитивным шумом.

В качестве поля зрения взят образец реальной сцены. В опытах используется дискретизированное изображение $B(i, j)$, содержащее 256 градаций серого цвета размером 256×256 пикселей; эталоном является изображение из этой же сцены размером 64×64 пикселя. Координаты центра искомого объекта оставались во всех экспериментах постоянными $X=107$, $Y=192$.

Во всех методах происходит сканирование во времени эталоном с равномерным шагом по полю зрения. При нахождении объекта, соответствующего эталону, система помещает на объекте рамку поиска. В такой постановке задача обнаружения соответствует простейшей задаче распознавания, когда отыскивается наилучшее сходство заданного эталона и множества входных изображений в момент времени t_0 .

На каждом шаге мера сходства определяется по следующим формулам [2]:

$$\frac{\sum_{(i,j) \in R} B(i, j)B_0(i, j)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in R} B^2(i, j)} \sqrt{\sum_{(i,j) \in R} B_0^2(i, j)}} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in R} |B(i, j) - B_0(i, j)| \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in R} (B(i, j)B_0(i, j)) \rightarrow \max, \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in R} (B_0^2(i, j) - B(i, j)B_0(i, j)) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $B_0(i, j)$ – i, j элемент эталонного изображения; $B(i, j)$ – i, j элемент входного изображения; R – область сравнения изображений; i, j – нумерация пикселей в изображениях.

Эксперименты по обнаружению объектов проводились с использованием алгоритмов (2)–(5), их целью было определение максимально допустимого уровня шума, при котором происходит

обнаружение и при котором оно становится невозможным. Для исследований были взяты аддитивные шумы, имеющие равномерный и нормальный законы распределения, поскольку они наиболее часто встречаются в реальных условиях.

Среднее значение яркости входного изображения (уровень сигнала S) равнялось 114 единиц, уровень шума (r) при вычислении соотношения сигнал/шум задавался как среднеарифметическое значение всех шумовых всплесков. Таким образом, соотношение сигнал/шум определяется так :

$$\frac{S}{r} = \frac{\frac{1}{n^2} \sum_{i,j} B(i, j)}{\frac{1}{n^2} \sum_{i,j} r(i, j)},$$

где $r_{i,j}$ — значение шумового всплеска; n — размер обрабатываемого изображения.

В общем виде плотность вероятности нормального закона распределения записывается так:

$$r(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(r_{i,j} - \alpha)^2}{2\sigma^2} \right].$$

Необходимо отметить, что для генерации на ЭВМ случайных чисел, имеющих нормальный закон распределения, был применен алгоритм Марсаглия — Брея (Marsaglia-Bray). В этом алгоритме в качестве $r_{i,j}$ берется число, имеющее равномерное распределение в интервале $[0, 1]$. При постановке экспериментов генерировались случайные числа по нормальному закону распределения с математическим ожиданием $\alpha=0$ и среднеквадратическим отклонением σ .

Другая серия экспериментов была посвящена исследованию возможностей формул (2)–(5) обнаруживать объекты в условиях наложения на изображение шума с равномерным законом распределения. Модель обрабатываемого изображения остается такой же. Плотность распределения вероятности такой величины определяется как

$$r(i, j) = \begin{cases} c & (a \leq r_{i,j} \leq b), \\ 0 & (r_{i,j} < a \text{ или } r_{i,j} > b), \end{cases}$$

где c — случайное число в интервале; $[a, b]$ — величина шумового всплеска.

Во время проведения экспериментов для генерации случайных чисел по равномерному закону распределения выбирался отрезок $[0, a]$, a – уровень шума, задаваемый при проведении каждого эксперимента. Результаты обнаружения по (2)–(5) при воздействии шума с нормальным и равномерным законами распределения приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

№ эксперимента	Уровень шума		Сигнал/шум	Результаты обнаружения			
	нормальный закон	равномерный закон		Формула 2		Формула 3	
				Отклонения X,Y	Отклонения X,Y	Отклонения X,Y	Отклонения X,Y
1	16	10	10/1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	24	20	10/2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	32	40	10/3	0,0	0,0	0,0	1,0
4	48	50	10/4	0,0	0,0	0,0	0,1
5	56	60	10/5	0,0	0,0	0,0	2,1
6	64	70	10/6	1,0	0,0	0,0	5,6
7	80	80	10/7	2,3	0,0	0,0	–
8	96	90	10/8	4,6	0,1	0,1	–
9	104	100	10/9	–	1,1	1,1	–
10	112	110	1/1	–	1,1	2,3	–

Таблица 2

№ экспе- римен- та	Уровень шума		Сигнал/ шум	Результаты обнаружения			
				Формула 4		Формула 5	
	нормаль- ный закон	равномер- ный закон		Отклоне- ния X,Y	Отклоне- ния X,Y	Отклоне- ния X,Y	Отклоне- ния X,Y
1	16	10	10/1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	24	20	10/2	0,1	0,1	0,0	0,0
3	32	40	10/3	1,2	3,5	0,0	0,0
4	48	50	10/4	3,5	–	0,0	0,1
5	56	60	10/5	–	–	0,0	1,1
6	64	70	10/6	–	–	1,0	5,5
7	80	80	10/7	–	–	0,1	–
8	96	90	10/8	–	–	1,1	–
9	104	100	10/9	–	–	2,2	–
10	112	110	1/1	–	–	3,3	–

В столбце “Уровень шума” приведены средние значения шума с нормальным и равномерным законами распределения, т.е. среднеарифметическое значение случайных чисел $r(i, j)$ в каждом экспе-

рименте. В столбце "Сигнал/шум" приведены величины, показывающие, сколько единиц шума приходится на 10 единиц сигнала. Эти соотношения получены из отношения среднего уровня сигнала к соответствующему среднему значению шума. Например, уровень сигнала 114, уровень шума – 24, тогда $114/24=4,75$ и из уравнения $4,75=10/r$ находим $r=2,1$, т.е. соотношение сигнал/шум $10/2$. Аналогично вычисляются и остальные соотношения.

В каждом столбце, соответствующем формуле, по которой ведется обнаружение, приведены два ряда значений "Отклонения X, Y". Первый из них содержит отклонения при обнаружении объекта на изображении с шумом, имеющим нормальный закон распределения, а следующий – равномерный закон.

Введем простейшую метрику оценки ошибок обнаружения по точности определения координат, например, $\max\{a_1, a_2\}=|a_1|+|a_2|$, где a_1, a_2 – ошибки определения координат. Введем допустимый уровень ошибки $\max\{a_1, a_2\}=1$, при превышении этого уровня считаем, что объект не обнаружен. Прочерки в ячейках таблицы означают, что далее эксперименты по обнаружению объектов не проводились, поскольку величина ошибки обнаружения становилась значительно выше принятой. Используя введенную систему оценки ошибок обнаружения, построим графики зависимости ошибок обнаружения от уровня соотношения сигнал/шум.

Важно отметить, что полученные результаты справедливы как для изображений, содержащих 256 градаций серого, так и для цветных изображений. Результаты обнаружения объектов на цветных и полутонных изображениях одинаковы. Высокая помехоустойчивость (2), (3), (5) при воздействии шума с нормальным законом распределения объясняется тем, что помехи не в состоянии полностью подавить изображение, и процедура распознавания обнаруживает интересующий нас объект. Из анализа табл. 1, 2 можно сделать следующие выводы:

- 1) при воздействии шума с нормальным законом распределения лучше всех работают (3) и (5);
- 2) при воздействии шума с равномерным законом распределения лучше всех работает (2).

Из графиков на рис. 1 и 2 видно, что наиболее помехоустойчивы те системы обнаружения, в основе которых лежат алгоритмы распознавания на основе формул (2), (3) и (5).

Из анализа помехоустойчивости этих формул можно сделать вывод о том, что в системе обнаружения целесообразно использовать пару (2), (3) или пару (2), (5), что позволит вести устойчивое

распознавание при воздействии шумов обоих типов и обнаруживать объект до тех пор, пока соотношение сигнал/шум не достигнет $10/7$.

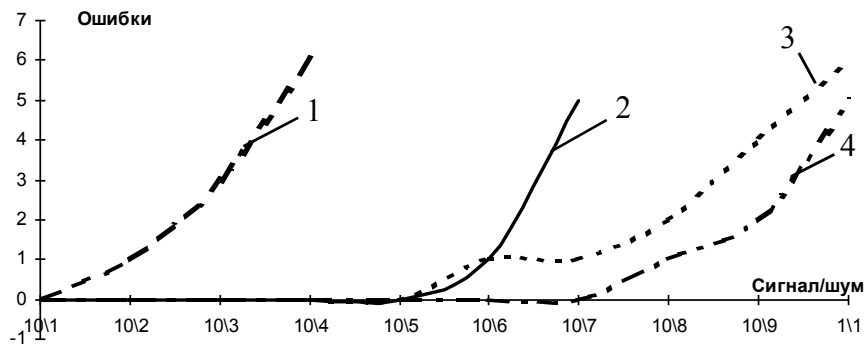


Рис. 1. График зависимости ошибок обнаружения от уровня шума с нормальным законом распределения: 1 – формула (4); 2 – формула (2); 3 – формула (5); 4 – формула (3)

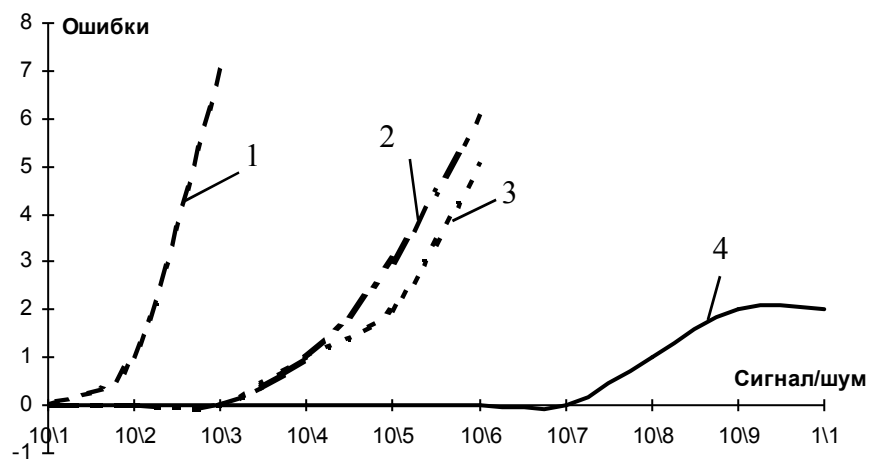


Рис. 2. График зависимости ошибок обнаружения от уровня шума с равномерным законом распределения: 1 – формула (4); 2 – формула (3); 3 – формула (5); 4 – формула (2)

Список литературы: 1. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. М.: Радио и связь, 1986. 248 с. 2. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.

Поступила в редколлегию 09.10.98

Липанов Александр Витальевич, аспирант кафедры Применения ЭВМ. Научные интересы: исследование методов обработки изображений, разработка алгоритмов обнаружения объектов на изображениях, разработка систем наблюдения. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-94-19.

УДК 519.21/23

С.Н. ГЕРАСИН, Л.О. КИРИЧЕНКО, А.А. РОДЗИНСКИЙ

АНАЛИЗ ЭРГОДИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЕСКОНЕЧНЫХ МАРКОВСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ РЕДУКЦИИ

Исследование различных систем массового обслуживания, процессов рождения и гибели часто приводит к необходимости решать систему уравнений Колмогорова, при помощи которой описывается динамика указанных процессов и систем. Довольно часто эта система содержит бесконечное число уравнений и ее нельзя непосредственно решить даже на ЭВМ. Для того чтобы сделать вычислительный процесс конечным, обычно используют метод редукции, при котором исходная бесконечномерная система уравнений (а значит и соответствующий ей процесс) заменяется конечной. Отвечающий конечной системе процесс должен иметь ту же вероятностную природу, что и исходный. Предельные характеристики "усеченной" системы могут быть определены аналитически и, если число уравнений достаточно велико, должны быть близки к соответствующим характеристикам исходной системы. Доказательства сходимости вероятностей состояний "усеченных" или редуцированных систем к исходной системе можно найти в работах [1-3]. Мы же ограничимся иллюстрацией сходимости на примере конкретных систем уравнений и укажем характерные особенности таких типов сходимости.

Пусть неоднородный марковский процесс $\xi(t)$ с непрерывным временем и счетным фазовым пространством определяется прямой системой Колмогорова