

УДК 681.13

Л.И. Гречихин, И.П. Шумский

МГВАК, ООО «Регула»: г. Минск, Республика Беларусь

Gretchihin @ yandex.ru

Система автоматической идентификации изображений с автокорреляционной и взаимнокорреляционной обработкой не связанных между собой нейронных сетей

Проанализированы следующие возможности принятия правильного решения: 1) путем сравнения коэффициентов корреляции полученных сигналов; 2) путем корреляционного анализа спектра амплитудных модуляций и 3) путем обработки авто- и взаимнокорреляционных функций эталонного и исследуемого изображений. Показано, что наиболее чувствительны к изменению анализируемых изображений отношение дисперсий амплитуд спектра Фурье-портрета и отношение размахов взаимнокорреляционных функций.

Введение

Распознавание образов и их идентификация на предмет подлинности – сложная задача как с научной точки зрения, так и в приборном исполнении. Для большинства практических приложений, как-то: идентификация паспортов и денежных знаков [1]; распознавание номерных знаков [2], [3]; анализ технического состояния работающей сложной механической системы [4-6] и др. – возникает необходимость принимать правильное решение.

В большинстве случаев принимается решение путем обработки большого количества признаков распознавания в реальном масштабе времени. Это потребовало применить цифровые методы обработки изображений с использованием ЭВМ. Теория и методы распознавания образов базируются на применении искусственного интеллекта. Особое место в этом направлении занимают искусственные нейронные сети, создаваемые на изображениях. В качестве основных числовых характеристик исследуемых изображений в работах [7], [8] предложено использовать следующие характеристики одномерного случайного процесса в нейронной сети: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение (дисперсия), коэффициенты асимметрии и эксцесса, энтропию, значение минимального и максимального элементов анализируемого поля и размах (диапазон уровней).

При анализе изображений с целью их распознавания и идентификации приходится сталкиваться с подделками высокого качества. Развитие современной полиграфии позволяет реализовать такое качество. В этой связи рассматриваемые в работе [8] различные моменты в теории вероятностей не позволяют принимать правильные решения с большой степенью их вероятности. Нужны другие подходы. Ниже рассмотрим возможности применения корреляционного и спектрального анализа изображений по выбранным искусственным нейронным сетям с определением автокорреляционных и взаимнокорреляционных функций.

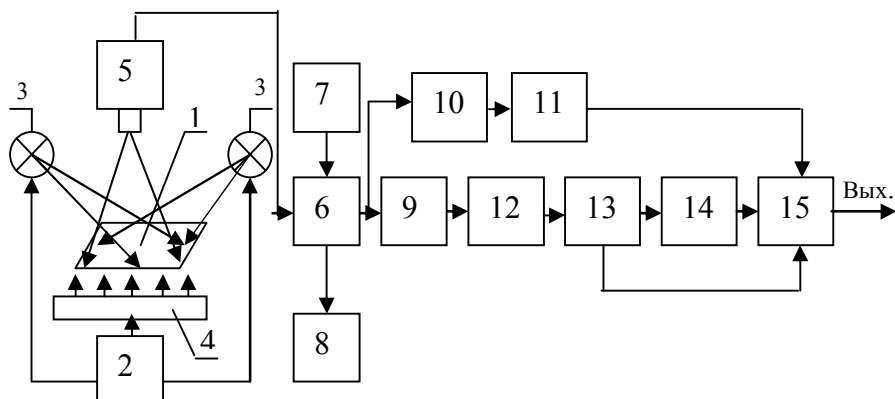


Рисунок 1 – Общая схема получения изображения и блок-схема обработки сигнала

Получение изображения, создание нейронной сети и способы обработки

Для получения изображения используется панорамный сканер или цифровая фотокамера. Схема получения изображения и структура цифровой обработки сигналов приведена на рис. 1. На предметный столик 1 помещается исследуемое изображение. Освещение осуществляется набором светодиодов 3 или площадным источником 4. Блок 2 служит для управления цветом и интенсивностью облучения. Цветная фотокамера или цветной панорамный сканер формируют исследуемое изображение, которое вводится в системный блок ЭВМ 6. Блок 7 содержит программу, которая осуществляет считывание информации по определенным траекториям искусственной нейронной сети.

В блоке 8 производится измерение цвета и в виде кодового сигнала поступает на вход спектроанализатора 9. Если производится измерение контраста, получаемого в проходящем или в отраженном свете, то на вход спектроанализатора поступает сигнал непосредственно с системного блока.

В качестве примера на рис. 2 показан исходный сигнал, полученный в

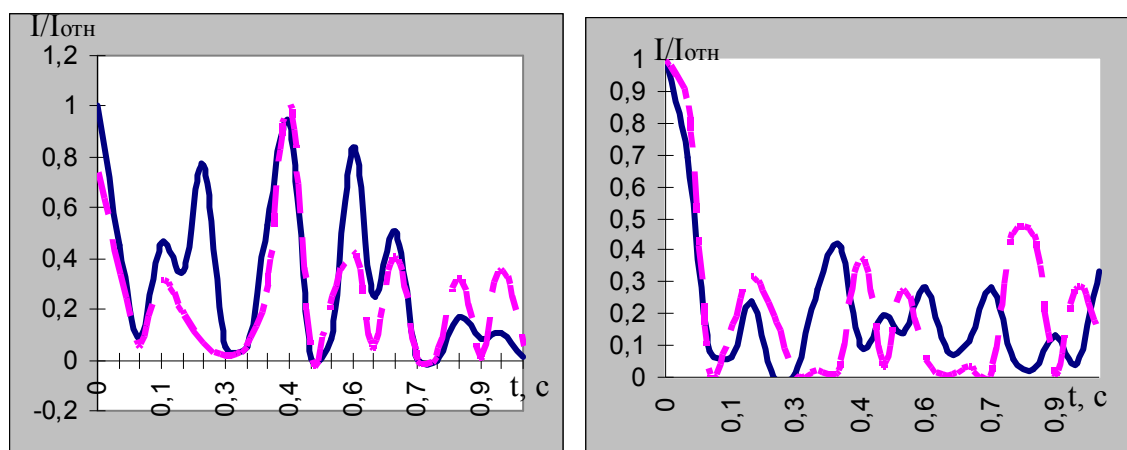


Рисунок 2 – Исходный сигнал, полученный в отраженном свете для первой и второй траекторий искусственной нейронной сети эталона (справа) и исследуемого образца (слева)

отраженном свете по двум разным траекториям с эталона и с исследуемого изображения. Время, в течение которого был получен сигнал по каждой из траекторий, составило 1 секунду.

Значение относительного контраста через 0,05 с вводилось в блок 10. Полагая сигнал случайным, в блоке 10 вычислялись коэффициенты корреляции, по значениям которых в блоке 11 принимается решение относительно заданного порога. Полученная информация запоминается в блоке 15 и используется в дальнейшем при принятии окончательного решения.

На выходе спектроанализатора 9 выводится спектр амплитудных модуляций, который в блоке 12 используется для формирования Фурье-портрета сигналов со всех четырех траекторий эталона и исследуемого изображения. В блоке 13 проводится корреляционный анализ полученного спектра амплитудных модуляций.

Блок 14 служит для вычисления авто- и взаимокорреляционных функций и производит их предварительный анализ. Окончательное решение путем сравнения с эталоном принимается в блоке 15 и выдается на информационное табло или на управление в случае анализа работы сложной механической системы.

Корреляционная обработка сигналов

Выбор траекторий в искусственной нейронной сети определяется коэффициентом корреляции, который для удобства программирования представляется в виде [9]

$$r = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{x^2 - \bar{x}^2} \sqrt{y^2 - \bar{y}^2}}, \quad (1)$$

где \bar{x} и \bar{y} – математическое ожидание случайных величин множества X и Y; $\overline{x \cdot y}$ – математическое ожидание произведения случайных величин x и y; $\sqrt{x^2 - \bar{x}^2}$ и $\sqrt{y^2 - \bar{y}^2}$ – дисперсии случайных величин x и y соответственно.

Коэффициент корреляции выборок по первой и второй траекториям для эталона составляет 0,596, а для исследуемого образца – 0,579. Полученные значения свидетельствуют о том, что выбор траекторий при построении нейронной сети должен удовлетворять неравенству

$$r \leq 0,6. \quad (2)$$

Так как исследуемое изображение не является идентичным эталону, то критерий оценки идентичности следует представить в виде

$$0,015 \geq K_1 = \sqrt{\Delta r^2 / n} \geq 0,015. \quad (3)$$

При $K_1 \leq 0,015$ исследуемое изображение идентично эталону, а при $K_1 \geq 0,015$ – не идентично эталону. Результат сравнения с эталоном поступает в блок 15 для формирования окончательного решения.

При тщательной подделке исследуемого изображения по критерию (3) не представляется возможным принять правильное решение. В этом случае возникает необходимость проводить более глубокий анализ.

Спектральный анализ получаемых сигналов

Анализируемые сигналы представляют собой случайные функции. Поэтому их более глубокий анализ осуществляется путем получения спектрального состава амплитудных модуляций полученных сигналов от эталона и исследуемого изображения. Для этого на вход спектроанализатора сигналы подаются периодически с частотой, превышающей чувствительность спектроанализатора. Если время прохождения сигналов T (период их повторения), то на выходе спектроанализатора получаем функцию вида

$$u(t) = \sum_i^n A_i \cos\left(i \frac{2\pi t}{T}\right), \quad (4)$$

где A_i – амплитуды частот $\omega_i = i \frac{2\pi}{T}$, а индекс i принимает произвольные значения.

Выражение (4) представляет собой спектр амплитудных модуляций, а сама функция $u(t)$ описывает исходный сигнал, поступающий на вход спектроанализатора. Полученные спектры амплитудных модуляций для двух анализируемых траекторий приведены в табл. 1, в которой над чертой приведены амплитуды и под чертой – частота, соответствующая данной амплитуде.

Таблица 1 – Спектры амплитудных модуляций, полученные на выходе спектроанализатора, отнесенные к сигналу на выходе измерительной системы

Параметры	Номера гармоник						
	1	2	3	4	5	6	7
Эталон 1-я траект.	0,1/5	0,3/10	0,4/25	0,8/37	0,2/48	1/90	0,4/120
Эталон 2-я траект.	0,4/7	1/12	0,7/23	0,6/36	0,5/50	0,2/100	0,4/130
Исслед. 1-я траект.	0,12/5,2	0,29/9,9	0,41/26	0,82/38	0,18/47	1/90,5	0,38/121
Исслед. 2-я траект.	0,39/6	1/13	0,71/22	0,69/37	0,51/48	0,19/103	0,38/128

Для функции (4) вычислим Фурье-портрет. Полученные спектры Фурье-портрета с обеих траекторий искусственной нейронной сети для эталона и исследуемого изображения приведены на рис. 3. Значения амплитуд каждой из

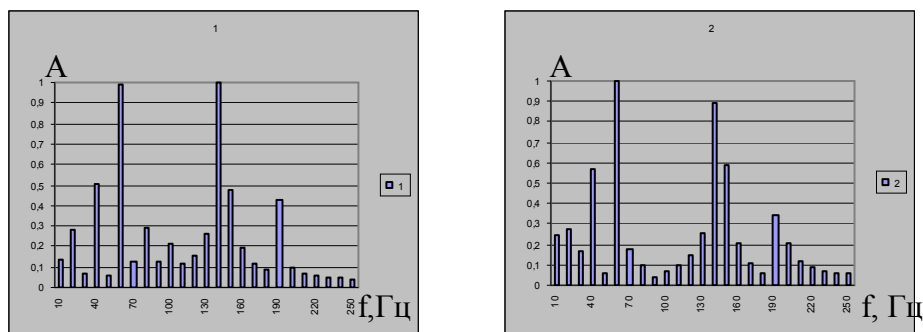


Рисунок 3 – Амплитудно-частотный спектр Фурье-портрета:
1 – для эталона; 2 – для исследуемого объекта

гармоник можно считать случайными, и тогда возможно определить коэффициент взаимной корреляции как внутри данного изображения по двум траекториям, так и между эталоном и исследуемым объектом. Результаты приведены в табл. 2.

Коэффициент корреляции амплитудно-частотных характеристик между двумя траекториями внутри каждого изображения для эталона и исследуемого изображения достаточно высокий. Еще более высокий коэффициент корреляции по спектральным компонентам для перекрестных одинаковых траекторий. Коэффициент корреляции амплитудных спектральных компонент заметно уменьшается для перекрестных разных траекторий. Разница коэффициентов корреляции между собой недостаточна, чтобы принять правильное решение. Поэтому предлагается сформировать другой критерий.

Таблица 2 – Коэффициент корреляции для различных траекторий и средне-квадратичное отклонение амплитуд различных гармоник

Параметры	Комбинации исследуемых траекторий					
	Эталон 1-я – 2-я	Исслед. 1-я – 2-я	1-я – эталон 1-я – исслед.	1-я – эталон 2-я – исслед.	2-я – эталон 1-я – исслед.	2-я – эталон 2-я – исслед.
R	0,987	0,987	0,995	0,975	0,975	0,997
$\sqrt{\Delta A^2 / n}$	1,07·10 ⁻⁴	1,39·10 ⁻⁴	1,89·10 ⁻⁵	1,24·10 ⁻³	1,24·10 ⁻³	2,84·10 ⁻⁵

Для этого рассмотрим среднеквадратичное отклонение амплитуд для одинаковых частот вида

$$\sigma = \sqrt{\Delta A^2 / n}, \quad (5)$$

где n – число рассмотренных гармоник. Вычисленные значения среднеквадратичного отклонения для траекторий разной комбинации приведены в табл. 1.

В качестве критерия оценки «идентичен» – «не идентичен» следует использовать отношение среднеквадратичного отклонения перекрестных траекторий эталона и исследуемого объекта к среднеквадратичному отклонению амплитуд разных частот для разных траекторий эталона, т.е. σ_i / σ_0 . Такое отношение отличается на порядок и поэтому является более надежным критерием для принятия правильного решения. Однако и этого может оказаться недостаточно для принятия окончательного решения. Поэтому рассмотрим, какие возможности позволяют реализовать автокорреляционная и взаимнокорреляционная функции.

Автокорреляционная и взаимнокорреляционная функции

Для количественной оценки отличия сигнала $u(t)$ и его смещенной во времени копии $u(t - \tau)$ вводится автокорреляционная функция как среднее значение скалярного произведения сигнала и его копии в среднем за период [10]:

$$AK\Phi = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)u(t - \tau)dt, \quad (6)$$

где T – период повторения сигнала. Выражение (6) определяет среднюю взаимную мощность интегрируемых двух функций $u(t)$ и $u(t - \tau)$.

Если взаимодействуют разные сигналы вида $u(t)$ и $v(t)$, то их взаимная мощность определяется средней за период взаимной корреляционной функцией [10]:

$$BK\Phi = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)v(t-\tau)dt. \quad (7)$$

В качестве примера на рис. 4 приведены значения этих функций для эталона, а на рис. 5 – для исследуемого изображения. Если рассматривать полученные автокорреляционные функции как функции случайных величин, то их коэффициент корреляции применительно к эталону составляет 0,745. Полученное значение коэффициента корреляции существенно ниже, чем это имело место для исходных функций (табл. 1), но остается достаточно высоким.

Взаимнокорреляционная функция для эталона существенно отличается от автокорреляционной функции (рис. 4). Поэтому коэффициент корреляции в этом случае даже отрицательный, а это значит, что связь между этими функциями

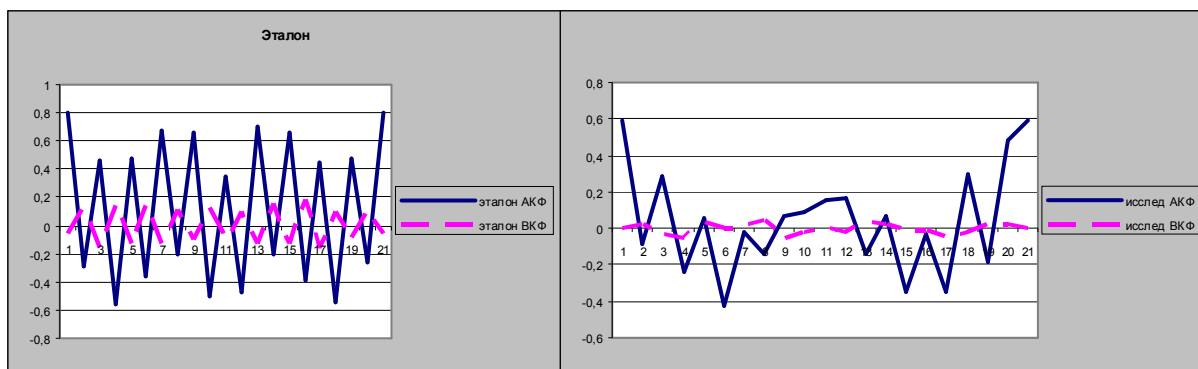


Рисунок 4 – Автокорреляционная функция первой траектории и взаимнокорреляционная функция эталона

Рисунок 5 – Автокорреляционная функция первой траектории и взаимнокорреляционная функция исследуемого образца

полностью отсутствует. В данном случае следует воспользоваться среднеквадратичным отклонением значений этих функций в выбранных точках анализа в соответствии с формулой (5). Результат вычислений для автокорреляционной функции первой траектории и взаимнокорреляционной функции эталона составил 0,387, соответственно для автокорреляционной функции второй траектории – 0,153. Отличие примерно в два раза не является убедительным и не может служить критерием для принятия решения.

Учитывая заметную разницу автокорреляционных и взаимнокорреляционных функций для эталона и исследуемого изображения, в качестве критерия принятия решения представляет интерес рассмотреть отношение среднего размаха этих функций для эталона по отношению к исследуемому изображению, т.е.

$$K = \bar{A}_{\text{этал.}} / \bar{A}_{\text{иссл.}}. \quad (8)$$

Для взаимнокорреляционных функций это отношение составляет 5,3, а для автокорреляционных функций первой траектории – 2,25 и второй траектории – 1,46. Следовательно, отношение размаха в качестве критерия принятия правильного решения можно использовать только для взаимнокорреляционных функций, получаемых внутри эталона и исследуемого изображения.

Отношение размахов для перекрестных взаимнокорреляционных функций в сравнении с автокорреляционными и взаимнокорреляционной функциями эталона не превосходит 3,5. Такое небольшое отличие обусловлено тем, что эталон используется совместно с исследуемым объектом, а это недопустимо.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что в автоматах распознавания образов по их изображениям с использованием искусственных нейронных сетей, обработка которых осуществляется путем применения спектральных и корреляционных методов, система является вполне реальной и позволяет идентифицировать объекты и принимать правильные решения даже при небольших отклонениях от эталона. Пороги принятия решения необходимо устанавливать в каждом конкретном случае свои и использовать при этом непрерывное самообучение. Эталон не должен использоваться совместно с исследуемым объектом в процессе его анализа.

Литература

1. Абламейко С.В., Гречихин Л.И., Шумский И.П. и др. Об определении подлинности документов // Цифровая обработка изображений. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАНБ. – 2001. – Вып. 5. – С. 184-191.
2. Галуев Г.А., Тараненко А.С. Нейросетевая система автоматической идентификации номерных знаков автотранспортных средств для задач комплексного обеспечения информационной безопасности // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2004. – № 5-6. – С. 19-36.
3. Галуев Г.А., Тараненко А.С. Автоматическая идентификация номерных знаков автотранспортных средств: методы и перспективы решения. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2004. – № 10. – С. 23-34.
4. Гречихин Л.И. Безразборная техническая диагностика сложных конструкций и возможности прогнозирования ресурса работы // Труды V Междунар. конф. Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения. – СПб.: Изд.-во СПбГПУ. – 2003. – С. 152-173.
5. Гречихин Л.И., Шумский И.П. Многоуровневая автоматическая система принятия решения на основе нечетких исходных данных // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 287-292
6. Шумский И.П. Принятие решений в автоматическом режиме при оптимальном управлении сложной механической системой по универсальному множеству // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк, ДонНТУ. – 2005. – вып. 27.
7. Калинин Г.А., Яншин В.В. Обработка изображений на языке СИ для IBM PC. – М.: Мир, 1994.
8. Костюк А.И., Каляев В.В. Изоморфная идентификация изображений // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2004. – № 10. – С. 35-38.
9. Герасимович А.И., Матвеева Я.И. Математическая статистика. – Мн.: Вышэйш. школа, 1978. – 200 с.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. школа, 1988. – 448 с.

Л.І. Гречихін, І.П. Шумський

Система автоматичної ідентифікації зображень з автокореляційною і взаємкореляційною обробкою не пов'язаних між собою нейронних мереж

Проаналізовано наступні можливості прийняття правильного рішення: 1) шляхом порівняння коефіцієнтів кореляції отриманих сигналів; 2) шляхом кореляційного аналізу спектра амплітудних модуляцій і 3) шляхом обробки авто- і взаємкореляційних функцій еталонного і досліджуваного зображень. Показано, що найбільш чутливі до зміни аналізованих зображень відношення дисперсій амплітуд спектра Фур'є-портрета і відношення розмахів взаємкореляційних функцій.

L.I. Gretchihin, I.P. Shumsky

Automated Image identification System with Autocorrelation and Mutual Correlation Processing of Dispersed Neuron nets

The following ways of the right decision-making are analyzed: 1) by comparing the correlation coefficients of received signals; 2) by means of correlation analysis of the amplitude modulation spectrum, and 3) by processing auto- and mutual correlation functions of the pattern and examined images. The research shows that Fourier-portrait spectrum amplitude dispersion ratio and mutually correlated functions amplitude ratio are most sensible to the change of images being analyzed.

Статья поступила в редакцию 24.06.2005.