



Е.П. Путятин<sup>1</sup>, П.А. Оробинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, informatika@kture.kharkov.ua

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, orpb@mail.ru

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЛИЦА**

В работе рассмотрены теоретические аспекты возникновения простейших геометрических преобразований на изображении, построение их математических моделей. Произведено исследование ненормализованной 12-факторной модели (12ФМ), описывающей человеческое лицо, на инвариантность к ряду простейших геометрических преобразований. Проанализировано поведение 12ФМ при воздействии на изображение различных шумов, для чего были построены соответствующие вероятностные модели. Установлены зависимости вероятностной модели от различных типов шумов. На основе полученных результатов сделаны выводы о помехозащищенности 12ФМ.

**НОРМАЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ, 12-ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ, ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОСПРИЯТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ГАУССОВ ШУМ, РАСЧЕТНАЯ ТОЧКА**

### **Введение**

**Актуальность темы.** Проблемам построения математических моделей систем компьютерного зрения и вопросам цифровой обработки изображений в настоящее время уделяют большое внимание многие исследователи. Это объясняется большим количеством практических задач, в которых используются изображения либо их анализ. На сегодняшний момент обработка и анализ изображений широко используются в робототехнике, анализе космических снимков, в медицине, дистанционном зондировании и т.д.

При решении практических задач актуальным является выбор математической модели, которая наиболее точно отображала бы все изменяющиеся процессы восприятия в поставленной задаче. Усилия, направленные на создание универсальной модели восприятия, способствовали построению математических моделей функций зрения, основанных на исследованиях психофизических реакций глаза человека. При моделировании зрения обычно не рассматривают вопросы об анатомических структурах и физиологических механизмах, реализующих соответствующие функции зрения. Анализ зрительной системы восприятия человека показал, что вполне адекватно описывает реальные процессы восприятия изображений трехмерных объектов математическая модель, использующая принципы проективной геометрии, и в литературе часто встречается такая постановка задачи.

Другой, не менее актуальной проблемой является наличие различных шумов на изображении, повсеместно возникающих в реальных условиях – например, блики от солнца, дождь, снег, град, недостаточная светочувствительность техники и др. Поэтому проблемам нормализации изображений, подверженных воздействию различного рода шумов, уделено особое внимание в современной робототехнике.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является анализ на инвариантность 12-факторной модели к ряду простейших геометрических преобразований, а также исследование поведения 12-ФМ при воздействии на изображение различных шумов.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих основных задач:

- анализ и построение простейших математических моделей восприятия изображений;
- исследование 12-ФМ на инвариантность при использовании различных математических моделей представления изображений объекта;
- построение вариантностной модели (ВМ);
- исследование зависимости ВМ от зашумленности изображения.

### **1. Инвариантность 12-ФМ к простейшим геометрическим преобразованиям**

Объектом исследования работы является человеческое лицо – трехмерный объект, не изменяющий своих абсолютных размеров в евклидовом пространстве и построенная после его анализа 12-факторная модель человеческого лица [8]. Однако при получении фото или видео лица (на экране) мы получаем двумерное изображение, которое впоследствии и обрабатываем. В зависимости от того, где расположено лицо относительно камеры, изображение получается с различными геометрическими искажениями.

Рассмотрим процесс возникновения этих искажений. Предположим, что человек движется относительно неподвижной камеры, т. е. его лицо находится относительно камеры на любой дистанции, под любым углом, с различным смещением. В зависимости от этого получаемые снимки будут отличаться теми или иными геометрическими параметрами [1, 3]. Основными простейшими искажениями изображения будут смещение, сжатие и поворот [2, 4]. Произведем доказательство того, что 12ФМ модель инвариантна к данным искажениям.

В дальнейшем под изображением будем понимать отсегментированный снимок  $B$  человеческого лица  $O$  в некотором поле зрения  $D$ ,  $B_0$  – заранее заданное эталонное изображение. Под эталонным изображением будем понимать такое, на котором изображение наиболее удобно для восприятия и распознавания человеком или СТЗ.

**Математическая модель смещения** заключается в том, что изображение объекта, не меняя своих геометрических размеров и ориентации, смещается относительно координатных осей в поле зрения  $D$ . В координатной зависимости это можно представить [5] в виде:

$$B_0(x, y) = B(x - n, y - m), \quad (1)$$

где  $B_0$  – исходное (эталонное изображение);  $B$  – смещенное изображение;  $n, m$  – параметры смещения вдоль координатных осей.

Очевидно, что предложенная 12-факторная модель является инвариантной к данному смещению. Поскольку все факторы 12-ФМ представляют собой отношения расстояний и размеров исследуемых объектов, то смещение этих объектов относительно координатных осей не приведет к изменению значений этих отношений. Покажем это на примере одного из признаков. Для доказательства возьмем признак  $k_1 = \frac{l_{E4}}{d_{E4}}$  – отношение высоты эллипса  $E4$  к его ширине, где  $l_{E4}$  – высота эллипса  $E4$ ,  $d_{E4}$  – ширина эллипса  $E4$  [8]. Применив формулу (1) к  $k_1$ , получим  $k_1'$ :

$$k_1' = \frac{\sqrt{((x_{L4_2} - n) - (x_{L4_1} - n))^2 + ((y_{L4_2} - m) - (y_{L4_1} - m))^2}}{\sqrt{((x_{D4_2} - n) - (x_{D4_1} - n))^2 + ((y_{D4_2} - m) - (y_{D4_1} - m))^2}} = \frac{\sqrt{(x_{L4_2} - x_{L4_1})^2 + (y_{L4_2} - y_{L4_1})^2}}{\sqrt{(x_{D4_2} - x_{D4_1})^2 + (y_{D4_2} - y_{D4_1})^2}} = \frac{l_{E4}}{d_{E4}} = k_1.$$

Аналогично доказывается инвариантность для остальных 11 признаков.

**Преобразования сжатия.** Пусть объект  $O$  удаляется от камеры (точки наблюдения) таким образом, что все точки объекта удаляются на одинаковое расстояние:  $A'A = B'B = C'C = D'D$  (рис. 1). Получаемые изображения  $B$  объекта  $O$ , находящиеся на плоскости  $\alpha$ , будут отличаться только коэффициентом масштаба.

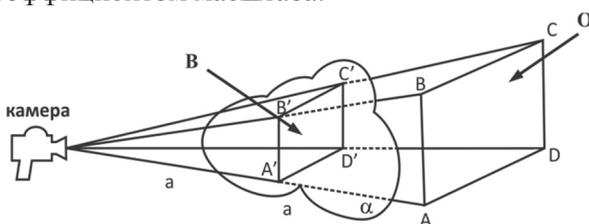


Рис. 1. Схема возникновения преобразования сжатия

Математическая модель зрения в этом случае представляет собой преобразование равномерного

сжатия (в литературе встречается термин «гомоте́тия» [3]) и имеет вид:

$$B_0(x, y) = B(kx, ky), \quad (2)$$

где  $k$  – параметр сжатия.

Неравномерное сжатие – преобразование более сложное, чем гомоте́тия, поскольку оно имеет два параметра, математическая модель которого:

$$B_0(x, y) = B(k_1x, k_2y), \quad (3)$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты сжатия вдоль координатных осей.

Покажем это на примере признака  $k_1$  [8]. Применив формулу (1) к  $k_1$ , получим  $k_1'$ :

$$k_1' = \frac{\sqrt{(kx_{L4_2} - kx_{L4_1})^2 + (ky_{L4_2} - ky_{L4_1})^2}}{\sqrt{(kx_{D4_2} - kx_{D4_1})^2 + (ky_{D4_2} - ky_{D4_1})^2}} = \frac{\cancel{k} \sqrt{(x_{L4_2} - x_{L4_1})^2 + (y_{L4_2} - y_{L4_1})^2}}{\cancel{k} \sqrt{(x_{D4_2} - x_{D4_1})^2 + (y_{D4_2} - y_{D4_1})^2}} = \frac{l_{E4}}{d_{E4}} = k_1. \quad (4)$$

Аналогично доказывается инвариантность к равномерному сдвигу для остальных 11 признаков. 12-ФМ инвариантна только лишь к равномерному сжатию. Однако на практике, например при стационарно установленной камере в аэропорту, возможно лишь равномерное сжатие и нормализация 12-ФМ для неравномерного сжатия имеет в основном лишь теоретический смысл либо узконаправленное практическое применение.

**Преобразование поворота.** Пусть объект  $O$  не удаляется от камеры (точки наблюдения), т.е. все получаемые изображения рассматриваются в одной плоскости  $\beta$  (рис. 2), и вращается вокруг оси, совпадающей с направлением оси камеры. В этом случае получаемые изображения  $B_1$  (изображение сплошной линией) и  $B_2$  (изображение пунктирной линией) рассматриваемого объекта  $O$  будут отличаться только углом поворота  $\alpha$ . Угол поворота  $\alpha$  является единственным параметром в этой модели зрения. Удобно рассматривать поворот в двух системах: полярной и евклидовой. В полярной системе координат поворот представляет собой смещение по углу, математическая модель в этом случае представляется аналогично обычному параллельному перемещению вдоль оси ординат.

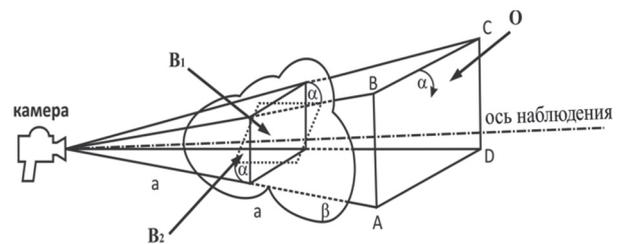


Рис. 2. Схема возникновения преобразования поворота

Если  $(\rho, \phi)$  – координаты точки изображения в полярной системе ( $\rho$  – расстояние,  $\phi$  – угол),

тогда координатная зависимость эталонного и входного изображений  $B(\rho, \phi) = B_0(\rho, \phi + \alpha)$ , где  $\alpha$  — угол смещения. В декартовой системе координат эталонное и входное изображения связаны зависимостью

$$B_0(x, y) = B(x \cos \alpha + y \sin \alpha, -x \sin \alpha + y \cos \alpha). \quad (5)$$

Легко доказать, что предложенная 12ФМ является инвариантной к данному преобразованию. Рассмотрим доказательство этого на примере параметра  $k_7 = \frac{R(O_{E1}, O_{E3})}{R(O_{E1}, O_{E2})}$  — отношения расстояния

между центрами эллипсов  $E_1$  и  $E_3$  к расстоянию между центрами эллипсов  $E_1$  и  $E_2$ , где  $R$  определяется по формуле  $R(X, Y) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ ,  $O_{E1}, O_{E2}, O_{E3}$  — центры эллипсов  $E_1, E_2, E_3 \in B_0$  соответственно [8]. Применив формулу (5) к  $k_7$ , получим  $k_7'$ :

$$\begin{aligned} k_7' &= \frac{\sqrt{(x_3 \cos \alpha + y_3 \sin \alpha - x_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha)^2 + (-x_3 \sin \alpha + y_3 \cos \alpha + x_1 \sin \alpha - y_1 \cos \alpha)^2}}{\sqrt{(x_2 \cos \alpha + y_2 \sin \alpha - x_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha)^2 + (-x_2 \sin \alpha + y_2 \cos \alpha + x_1 \sin \alpha - y_1 \cos \alpha)^2}} = \\ &= \frac{\sqrt{(\cos \alpha (x_3 - x_1) + \sin \alpha (y_3 - y_1))^2 + (\cos \alpha (y_3 - y_1) - \sin \alpha (x_3 - x_1))^2}}{\sqrt{(\cos \alpha (x_2 - x_1) + \sin \alpha (y_2 - y_1))^2 + (\cos \alpha (y_2 - y_1) - \sin \alpha (x_2 - x_1))^2}} = \begin{matrix} x' = x_3 - x_1 \\ y' = y_3 - y_1 \\ x'' = x_2 - x_1 \\ y'' = y_2 - y_1 \end{matrix} = \\ &= \frac{\sqrt{x'^2 \cos^2 \alpha + 2x'y' \cos \alpha \sin \alpha + y'^2 \sin^2 \alpha + y'^2 \cos^2 \alpha - 2x'y'' \cos \alpha \sin \alpha + x''^2 \sin^2 \alpha}}{\sqrt{x''^2 \cos^2 \alpha + 2x''y'' \cos \alpha \sin \alpha + y''^2 \sin^2 \alpha + y''^2 \cos^2 \alpha - 2x''y' \cos \alpha \sin \alpha + x'^2 \sin^2 \alpha}} = \\ &= \frac{\sqrt{x'^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + y'^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)}}{\sqrt{x''^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + y''^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)}} = \frac{\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} = \frac{R(O_{E1}, O_{E3})}{R(O_{E1}, O_{E2})} = k_7. \end{aligned}$$

Аналогично доказывается инвариантность к повороту для остальных 11 признаков 12-ФМ.

## 2. Вероятностная модель 12-ФМ и ее зависимость от различных шумов

При получении изображений объектов на них могут возникать различного рода искажения. Такими являются: случайные помехи, локальные помехи, яркостные. Рассмотрим некоторые наиболее часто встречающиеся из них (шум типа «соль-перец», помехи фиксированного размера, помехи произвольного размера и гауссов шум), а также их влияние на построение 12-ФМ. Для этого нам необходимо построить вероятностную модель.

При вычислении 12 факторов используются данные о четырех эллипсах, отвечающих за глаза, лоб и лицо, и одного треугольника, отвечающего за нос [8]. Пусть вероятность верного построения 12-ФМ модели на незашумленном изображении равна  $P(X)$ , вероятность определения любой из точек, использующихся для расчета 12 факторов, равна  $p(x_{ij})$ . Тогда вероятность определения эллипса

будет вероятностью определения 4 точек, концов главных осей эллипса, вероятность определения треугольника будет вероятностью нахождения трех его вершин. Введем определение для точек, участвующих при построении 12-ФМ, назовем их расчетными точками (РТ). Вероятность одновременного определения  $n$ -зависимых точек будет вычисляться по формуле:

$$P_n = p^n. \quad (6)$$

Используя формулу (6), запишем вероятности нахождения эллипса и треугольника:

$$P_{Ei} = p^4, \quad (7)$$

$$P_N = p^3, \quad (8)$$

где  $p$  — вероятность определения точки;  $P_{Ei}$  — вероятность нахождения эллипса  $E_i$ ;  $P_N$  — вероятность нахождения треугольника.

Используя формулы (7) и (8), определим зависимость построения 12-ФМ от вероятности определения РТ:

$$\begin{aligned} P(p(x_{ij})) &= \\ &= P_{E1} P_{E2} P_{E3} P_{E4} P_N = \\ &= p^{19}. \quad (9) \end{aligned}$$

Основываясь на результатах исследований построения 12-ФМ [8], вероятность верного нахождения 12-ФМ составляет 0,95. Тогда

из формулы (9) найдем вероятность  $p$  нахождения РТ на незашумленном изображении, а также среднеквадратическое отклонение ошибки:

$$\begin{cases} p^{19} = 0,95 \\ 0 < p < 1 \\ \sigma = \sqrt{1-p} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p \approx 0,997 \\ \sigma \approx 0,05 \end{cases} \quad (10)$$

Сформулируем общую задачу зависимости построения 12-ФМ от шума. Предположим, что после нормализации изображения удаляются все помехи, тогда для определения вероятности построения 12-ФМ необходимо найти вероятность того, что будет обнаружена РТ и в ней не будет помехи. Пусть  $A$  — вероятность нахождения РТ,  $B$  — вероятность помехи в точке, тогда вероятность того, что будет найдена РТ и в ней не будет помехи, определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} P(A\bar{B}) &= P(A(1-B)) = P(A-AB) = \\ &= P(A) - P(AB) = P(A) - P(A)(B). \end{aligned} \quad (11)$$

Введем понятие двух случайных помех.

**Определение 1.** Будем считать, что на изображении присутствуют две помехи А и В, если существует хотя бы одна точка, принадлежащая А и не принадлежащая В.

Найдем вероятности возникновения различных помех в точке на изображении размерности  $n \times m$ , с коэффициентом зашумления  $\alpha$ .

1. Вероятность возникновения в точке случайной помехи типа «соль-перец» фиксированного размера  $l$  обозначим  $q_l$ , где  $q_l = \frac{l}{nm}$ . Вероятность этой помехи с коэффициентом зашумления  $\alpha$  задается формулой (12) [6]:

$$q_l(\alpha) = \frac{l}{n \cdot m} + \frac{l}{n \cdot m - 1} + \dots + \frac{l}{n \cdot m - (\alpha \cdot n \cdot m - 1)} = \sum_{i=0}^{\alpha nm - 1} \frac{l}{nm - i}. \quad (12)$$

2. Вероятность возникновения в точке случайной помехи нефиксированного размера  $s \in [1, l]$  обозначим  $q_s$ , где  $q_l = \frac{l}{2nm}$ . Вероятность этой помехи с коэффициентом зашумления  $\alpha$  задается формулой (13):

$$q_s(\alpha) = \frac{l}{2 \cdot n \cdot m} + \frac{l}{2(n \cdot m - 1)} + \dots + \frac{l}{2(n \cdot m - (\alpha \cdot n \cdot m - 1))} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{\alpha nm - 1} \frac{l}{nm - i}. \quad (13)$$

3. Вероятность возникновения в точке гауссова шума с  $\sigma = 0,05$ ,  $\mu = 1$  и коэффициентом  $\alpha$  задается формулой (14):

$$q_g = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\alpha-1)^2}{2\sigma^2}}. \quad (14)$$

Подставив вероятности (10), (12), (13), (14) в формулу (11), получим вероятностные модели зависимости построения 12-ФМ от помех. Построим соответствующие графики зависимости.

$j:=200$

$$Ps_1(\alpha) = p - p \cdot \sum_{k=0}^{\alpha \cdot i \cdot j - 1} \frac{1}{|i \cdot j - k|},$$

$$Ps_2(\alpha) = p - p \cdot \sum_{k=0}^{\alpha \cdot i \cdot j - 1} \frac{2}{|i \cdot j - k|},$$

$$Ps_3(\alpha) = p - p \cdot \sum_{k=0}^{\alpha \cdot i \cdot j - 1} \frac{3}{|i \cdot j - k|},$$

$$Pn(\alpha) = p - p \cdot 0,5 \sum_{k=0}^{\alpha \cdot i \cdot j - 1} \frac{3}{|i \cdot j - k|},$$

где  $Ps_1, Ps_2, Ps_3$  – вероятностные модели для шумов с фиксированной площадью помехи 1,2,3 пикселя соответственно.  $Pn$  – вероятностная модель для шума с произвольным размером помехи ( $max\ 3$ ),  $i, j$  – размеры изображения,  $p$  – вероятность определения РТ.

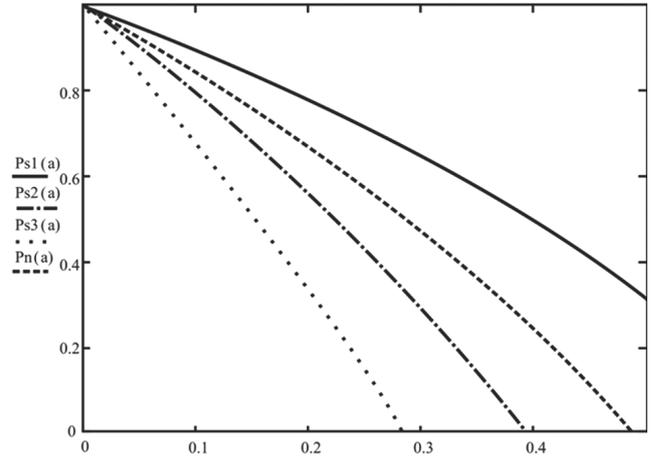


Рис. 3. График зависимости вероятности удачных вычислений параметров 12-ФМ от случайных шумов фиксированного и нефиксированного размеров

Вероятностная модель построения 12-ФМ при гауссовом шуме имеет следующий вид:

$$Pg(\alpha) = p - p \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\alpha-1)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $Pg$  – вероятностная модель для гауссова шума;  $i, j$  – размеры изображения;  $p$  – вероятность определения РТ.

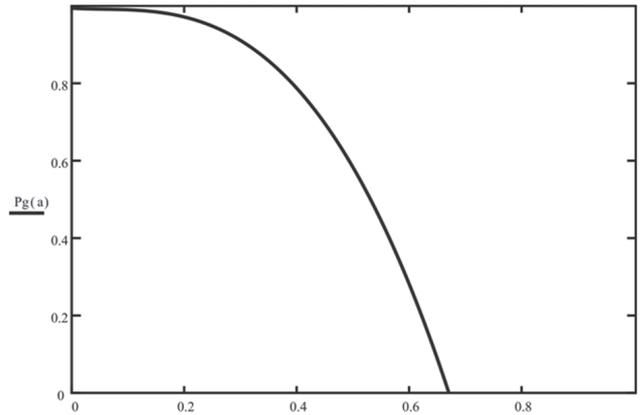


Рис. 4. График зависимости вероятности удачных вычислений параметров 12-ФМ от гауссова шума

### 3. Анализ результатов

Для исследования были взяты изображения, на которых выделен контур лица, но он был заранее искажен одним или несколькими из рассмотренных выше геометрических преобразований. Кроме этого, на изображение воздействовали различные шумы с коэффициентом зашумления 10%. Согласно исследованиям вероятностной модели (рис. 3 и рис. 4) именно этот процент зашумления является таковым, при котором вероятность верного построения 12-ФМ является достаточно высокой (85% и выше). Целью исследования было проверить 12-ФМ модели на инвариантность к простейшим преобразованиям в сочетании с различными шумами. Испытания проводились на 100 различных изображениях, на которых контур человеческого лица был смещен, повернут или сжат

относительно центра изображения, при этом на изображение добавлялись различные шумы. Ниже приведена таблица полученных результатов. Все изображения бинарные, имеют размер 200×200 пикселей и сохранены в формате jpeg.

**Таблица 1**

Зависимость удачных вычислений параметров 12-ФМ от шумов и простейших геометрических преобразований

Геометрическое преобразование	Шум «соль-перец», %	Помехи плавающего размера (max 3 пикселя), %	Гауссов шум, %
Смещение	98	96	98
Поворот	96	92	98
Сжатие	96	94	98
Смещение, поворот	98	94	98
Смещение, сжатие	94	94	98
Поворот, сжатие	94	92	98
Смещение, сжатие, поворот	92	90	98

На основании приведенных в табл. 1 результатов можно с уверенностью говорить о целесообразности применения 12-ФМ на изображениях с зашумленностью до 10%, где присутствуют простейшие геометрические преобразования без дополнительной нормализации.

Опираясь на близость данных, полученных в результате эксперимента (табл. 1) и аналитических данных (рис. 3, 4), можно сделать вывод о практической применимости использования вероятностной модели при оценке зашумленности изображения.

Также следует отметить, что вероятность построения 12-ФМ обратно пропорциональна отношению размера помехи к площади изображения.

### Выводы

В ходе проведенного анализа простейших математических моделей восприятия изображений было показано, что 12-ФМ инвариантна к таким простейшим преобразованиям, как смещение, сжатие и поворот. Так как данные преобразования повсеместно встречаются при решении практических задач, то очевидна практическая целесообразность применения 12-ФМ в СТЗ. В частности, инвариантность 12-ФМ к смещению решает такую важную проблему, как погрешность при центрировании.

Проведен анализ на устойчивость к различным шумам с помощью исследования вероятностной модели. Установлена практическая целесообразность применения 12-ФМ на изображениях с простейшими геометрическими искажениями и зашумленностью до 10% без дополнительной нормализации.

Так, в качестве примера практичности применения метода распознавания, основанного на 12-ФМ модели, можно привести движущийся конвейер с предметами в помещении с низкой освещенностью, над которым установлена под прямым углом камера.

Конечно, на сегодняшний день существуют методы для обеспечения инвариантности к смещениям, поворотам, преобразованиям сжатий. Одними

из наиболее распространенных являются методы, основанные на моментах высших порядков [9]. Однако в ходе проведенных исследований было установлено, что временные затраты на реализацию таких методов значительно превосходят время, необходимое для вычислений 12-ФМ.

Следует отметить необходимость исследования 12-ФМ на инвариантность к общей математической модели однопараметрических изменений, поскольку рассмотренные простейшие преобразования не отражают весь набор возможных геометрических изменений в практических задачах.

- Список литературы:** 1. Борель, А. Линейные алгебраические группы [Текст] / А. Борель. – М.: Мир, 1972. – 269 с. 2. Бронников, А.Б. Комбинированные алгоритмы нелинейной фильтрации зашумленных сигналов и изображений [Текст] / А.Б. Бронников, Ю.Е. Воскобойников // Новосибирск.: Автометрия. – 1990, – №1. – С. 21–26. 3. Бондарев, В.Н. Искусственный интеллект: Учебное пособие для вузов [Текст] / В.Н.Бондарев, Ф.Г. Аде // Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с. 4. Воробель, Р.А. Сприйняття сюжетних зображень та кількісна оцінка їх контрасту на основі лінійного опису визначення контрастності елементів [Текст] / Р.А. Воробель // Доповіді НАН України. – 1998. – № 9. – С. 103–108. 5. Глаголев, Н.А. Проективная геометрия [Текст] / Н.А. Глаголев. – М.: Высшая школа, 1963. – 343 с. 6. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. – М., Высш.шк., 2003. – 479 с. 7. Путятин, Е.П. Экспериментальное исследование алгоритмов нормализации изображений [Текст] / Е.П. Путятин, А.В. Липанов, Д.О. Прокопенко // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Сб. научн. тр. – Харьков: ХТУРЭ, 1997. – Вып 104. – С. 34–41. 8. Путятин, Е.П. Построение 12-факторной модели человеческого лица [Текст] / Е.П. Путятин, П.А. Оробинский // Бионика интеллекта. – 2010. – №1 (72). – С. 12–17. 9. Martinez Marroquin E. Non linear image analysis for fuzzy classification of breast cancer / E. Martinez Marroquin, C. Vos, H. Santamaria, X. Jove, J.C. Socoro // SPIE. – 1995. – Vol. 2492. – P. 612-623.

Поступила в редколлегию 25.04.20012

УДК 681.3.07

**Статистичний аналіз багатофакторної моделі людського обличчя** / Є.П. Путятін, П.А. Оробінський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2012. – № 2 (79). – С. 3–7.

У статті розглянуто теоретичні аспекти виникнення простіших геометричних перетворень на зображенні та побудова їхніх математичних моделей. Проаналізовано поведінку 12ФМ при дії на зображення різних шумів, для чого були побудовані відповідні ймовірнісні моделі. Встановлено залежності ймовірнісної моделі від різних типів шумів.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 9 найм.

UDK 681.3.07

**Statistical analysis of multivariate model of the human face** / E.P. Putyatin, P.A. Orobinski // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2012. – № 2 (79). – P. 3–7.

In the article the theoretical aspects of the elementary geometrical conversions occurrence on the image are considered and their mathematical models creation. The behavior of 12FM with different noise is analyzed, probabilistic models are constructed. Dependences of probabilistic model from different types of noise are propose.

Tabl. 1. Fig. 4. Ref.: 9 items.