

УДК 004.852

Е.А. Самойлин, О.В. Серпенинов, Е.Ю. Шкаранда**МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИ ДОСТУПЕ К ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**

Целью исследования является оптимизация процесса биометрической идентификации личности при доступе к информационно-телекоммуникационным системам (ИТС), позволяющая повысить уровень защищенности информации от несанкционированного доступа.

Предложена процедура статистической оптимизации по критерию идеального наблюдателя пороговых параметров функции близости, которая позволяет повысить качество функционирования корреляционных идентификаторов биометрических параметров личности.

Синтезировано выражение, позволяющее определить значения порога для оптимальной в смысле критерия идеального наблюдателя системы обработки, обеспечивающего потенциально достижимое качество идентификации образа на изображении.

Синтезированные пороговые параметры позволяют получить наилучшие решения корреляционных идентификаторов-обнаружителей, что подтверждается результатами представленных статистических испытаний.

Защита информации; информационно-телекоммуникационная система; объект информатизации; биометрическая идентификация; идентификация личности; статистическая оптимизация; корреляционный идентификатор.

E.A. Samoilin, O.V. Serpeninov, E.U. Shkaranda**OPTIMIZATION METHOD OF IDENTIFICATION FOR ACCESS TO INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

The object of the study is the optimization of personal biometric identification process for access to information and telecommunication systems (ITS) that let increase the level of information protection from an unauthorized access.

The procedure of statistical optimization according to the criterion of the ideal observer of proximity function's threshold parameters is proposed. It can improve the quality of functioning of correlation identifiers of the person's biometrical parameters.

An expression indicating the threshold value for optimal as an ideal observer criterion processing system is produced. This criterion must provide such a level of image identification quality that is potentially achievable.

Synthesized threshold parameters enable to obtain the best deal of correlation identifiers detectors, and that is proved by the results of statistical tests.

Information security; information and telecommunication system; object of informatization; biometric identification; personal identification; statistical optimization; correlation identifier.

Введение. В настоящее время значительное увеличение объемов информации различного уровня конфиденциальности, обрабатываемой на объектах информатизации, входящих в ИТС различного назначения, расширение круга лиц, имеющих доступ к техническим средствам обработки информации и другим элементам объектов информатизации, выдвигает в число важнейших задачу защиты информации от несанкционированного доступа, Одним из путей решения этой проблемы является использование методов биометрической идентификации личности при осуществлении доступа к ИТС.

Одно из направлений биометрической идентификации основано на анализе статических (неизменяемых) образов личности (особенности геометрии лица, руки, отпечатка пальца). Для большинства объектов ИТС наиболее приемлемыми являют-

ся способы статической идентификации пользователей по особенностям геометрии лица, которые основаны, как правило, на корреляционно-экстремальном принципе обработки изображений [1–3], что определяет их достаточно высокую эффективность при условии незначительной вариации классов образов и сравнительно простую техническую реализацию. Между тем, корреляционным идентификаторам присущи такие недостатки, как сложность построения эталонов образов, переход к инвариантам при сдвиге, повороте и изменении масштаба образа, а также неоптимальный эвристический характер выбора порога функции близости при принятии решения о принадлежности образа некоторому классу.

Качество корреляционной идентификации образа определяется двумя видами ошибок: ошибками вследствие неверного отождествления образа с отдельными деталями на наблюдаемом изображении и ошибками измерения координат вблизи их истинного значения. Ошибки первого рода определяют существенные отклонения в результатах измерения координат, превышающие размеры искомого образа. При обнаружении – это ошибки типа ложной тревоги и пропуска объекта. Будем называть их аномальными. Ошибки второго рода имеют величину порядка размеров объекта и связаны с неточным определением положения в пределах самого объекта. Назовем их нормальными. Нормальные ошибки связаны в основном только с искажениями сигнала от идентифицируемого объекта. В данном исследовании рассматривается статическая оптимизация идентификаторов, направленная на минимизацию аномальных ошибок.

Цель исследования – повышение эффективности корреляционных идентификаторов биометрических параметров личности при доступе к защищенным информационно-телекоммуникационным системам.

Постановка задачи разработки и оптимизации метода биометрической идентификации. Большинство корреляционных идентификаторов видовых параметров на изображениях имеют схожую структуру, а общий принцип их работы выглядит следующим образом [2, 3].

На вход блока предварительной обработки и формирования инвариантных признаков поступает матрица изображения $\lambda(i, j) = \lambda_{i,j}$ со строками i и столбцами j , $i \in [1, m]$, $j \in [1, n]$. На данном этапе, как правило, осуществляется формирование информативных (контуры) и инвариантных к смещению, масштабу и повороту объекта признаков, например, вложенных матриц $[\lambda]$ [3]. Здесь могут осуществляться и различные процедуры фильтрации помех и искажающих факторов, например, предложенные в [4, 5].

Далее матрица $[\lambda]$ совместно с одной из матриц эталонов $[y]$ поступает на вход блока вычисления некоторой функции расстояния, в качестве которой обычно выбирается корреляционная функция, максимум которой имеет место при минимуме евклидова расстояния. Выражение для вычисления корреляции между соответствующими вложениями $\lambda_{i,j}$ матрицы $[\lambda]$ и $y_{i,j}$ матрицы $[y]$ имеет вид [2, 3]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\lambda_{i,j} - \bar{\lambda})(y_{i,j} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\lambda_{i,j} - \bar{\lambda})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{i,j} - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где $\bar{\lambda}$, \bar{y} – средние значения соответственно изображений $\lambda_{i,j}$ и $y_{i,j}$.

На заключительном этапе вычисленные значения Z корреляции (1) сравниваются в пороговом устройстве с априорно закладываемыми пороговыми параметрами z_p . Если в определенном вложении $Z \geq z_p$, принимается решение о наличии центра образа в координате $i = k, j = l$, соответствующей данному вложению и наоборот, что выглядит следующим образом:

$$H \Rightarrow \begin{cases} Z \geq z_p \rightarrow H_1 \forall i = k, j = l; \\ Z < z_p \rightarrow H_0 \forall i = k, j = l, \end{cases} \quad (2)$$

где H – область решений, принимаемых идентификатором; H_1 – решение о наличии образа в некотором вложении $\lambda_{i,j}$; H_0 – решение о его отсутствии в $\lambda_{i,j}$; \forall – символ «для».

Пусть задана вероятность p наличия на изображении вложения $\lambda_{i,j}$ интересующего биометрического образа. Поскольку поиск образа на $\lambda_{i,j}$ осуществляется, как правило, в условиях помех (к которым можно отнести потерю части контура, похожие объекты и т.д.), эта вероятность характеризуется некоторой плотностью распределения по области возможных значений $Z \in [0,1]$. Обозначим данную плотность распределения p через $f(z/z=1)$, а плотность вероятности $(1-p)$ для случая отсутствия образа – $f(z/z=0)$. Поскольку при идентификации образа ошибочные решения первого и второго рода нежелательны в равной степени, можно воспользоваться критерием идеального наблюдателя (Котельникова–Зигерта) [6], минимизирующим их сумму.

Задачу сформулируем следующим образом. На основе заданных p , $f(z/z=1)$, $f(z/z=0)$ синтезировать значение порога z_p , обеспечивающего минимизацию вероятности ошибки $P_{Ош}$ при принятии решений идентификатором:

$$z_p = \arg \min_{z_p \in [0,1]} \{P_{Ош} = P_{ЛГ} [f(z/z=1), f(z/z=0)] + P_{ПР} [f(z/z=1), f(z/z=0)]\}, \quad (3)$$

где $P_{ЛГ}$ – вероятность ложной тревоги при принятии решения о наличии образа; $P_{ПР}$ – вероятность пропуска образа.

Синтез критерия статистической оптимальности алгоритма идентификации на основе предлагаемого метода.

Запишем выражения для нормированных условных вероятностей ошибочных и правильных решений, принимаемых идентификатором при идентификации образа. При этом вероятность ложного обнаружения образа во вложении $\lambda_{i,j}$ будет иметь вид [6]:

$$P_{ЛО} = \int_{z_p}^1 f(z/z=0) dz / \int_0^1 f(z/z=0) dz. \quad (4)$$

Условная вероятность принятия правильного решения об отсутствии образа будет [6]:

$$P_{ПР.ОТС} = \int_0^{z_p} f(z/z=0) dz / \int_0^1 f(z/z=0) dz, \quad (5)$$

причем $P_{ЛО} + P_{ПР.ОТС} = 1$.

Условная вероятность пропуска образа будет иметь вид [6]:

$$P_{\text{ПРОП}} = \int_0^{z_p} f(z/z=1)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=1)dz. \quad (6)$$

Условная вероятность принятия идентификатором правильного решения о наличии образа будет [6]:

$$P_{\text{ПР.ОБН}} = \int_{z_p}^1 f(z/z=1)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=1)dz, \quad (7)$$

причем $P_{\text{ПРОП}} + P_{\text{ПР.ОБН}} = 1$.

С учетом p и условных вероятностей (4)-(7) запишем выражения для нормированных безусловных вероятностей ошибок и правильных решений [6]. Вероятность ложных тревог примет вид

$$P_{\text{ЛТ}} = (1-p)P_{\text{ЛО}} = (1-p) \left[\int_{z_p}^1 f(z/z=0)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=0)dz \right]. \quad (8)$$

Вероятность принятия правильного решения об отсутствии образа будет иметь вид

$$P_{\text{ПО}} = (1-p)P_{\text{ПР.ОТС}} = (1-p) \left[\int_0^{z_p} f(z/z=0)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=0)dz \right]. \quad (9)$$

Вероятность пропуска будет определяться выражением

$$P_{\text{ПР}} = pP_{\text{ПРОП}} = p \left[\int_0^{z_p} f(z/z=1)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=1)dz \right]. \quad (10)$$

Вероятность принятия правильного решения о наличии образа будет

$$P_{\text{ПН}} = pP_{\text{ПР.ОБН}} = p \left[\int_{z_p}^1 f(z/z=1)dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=1)dz \right]. \quad (11)$$

Очевидно, что $P_{\text{ЛТ}} + P_{\text{ПО}} + P_{\text{ПР}} + P_{\text{ПН}} = 1$.

Таким образом, с учетом выражений (8)-(11) критерий идеального наблюдателя (3) можно записать в виде

$$z_p = \arg \min_{z_p \in [0,1]} \left\{ (1-p) \frac{\int_0^{z_p} f(z/z=0)dz}{\int_0^1 f(z/z=0)dz} + p \frac{\int_0^{z_p} f(z/z=1)dz}{\int_0^1 f(z/z=1)dz} \right\}. \quad (12)$$

Потенциальная точность идентификации доступа предлагаемым методом

Получим теоретическую зависимость значения порога z_p , обеспечивающего потенциально достижимое качество идентификации образа на изображении, т.е. предельно достижимую (стремящуюся к нулю) вероятность ошибки $P_{\text{ЛТ}} + P_{\text{ПР}}$ для оптимальной в смысле критерия идеального наблюдателя системы обработки. С этой целью, учитывая, что $P_{\text{ЛТ}}, P_{\text{ПР}} \geq 0$, приравняем аргумент (12) к нулю, получив при этом предельный случай отсутствия ошибок [7]:

$$(1-p) \left[\frac{\int_0^1 f(z/z=0) dz}{\int_0^1 f(z/z=0) dz} \right] + p \left[\frac{\int_0^{z_p} f(z/z=1) dz}{\int_0^1 f(z/z=1) dz} \right] = 0. \quad (13)$$

Заменим пределы интегрирования второго слагаемого в (13):

$$(1-p) \left[\frac{\int_0^1 f(z/z=0) dz}{\int_0^1 f(z/z=0) dz} \right] + p \left[\frac{\int_0^1 f(z/z=1) dz}{\int_0^1 f(z/z=1) dz} \right] = 0. \quad (14)$$

Раскрыв скобки второго слагаемого (14), внося $(1-p)$ и p под знаки интегрирования и приводя слагаемые к общему знаменателю, преобразуем (14) к виду

$$p + \frac{\left(\int_0^1 (1-p) f(z/z=0) dz \right) \int_0^1 f(z/z=1) dz - \left(\int_0^1 p f(z/z=1) dz \right) \int_0^1 f(z/z=0) dz}{\int_0^1 f(z/z=1) dz \int_0^1 f(z/z=0) dz} = 0. \quad (15)$$

Полагая $\int_0^1 f(z/z=1) dz$ и $\int_0^1 f(z/z=0) dz$ постоянными множителями,

внесем их под знаки интегрирования и объединим интегралы:

$$p + \frac{\int_0^1 \left[(1-p) f(z/z=0) \int_0^1 f(z/z=1) dz - p f(z/z=1) \int_0^1 f(z/z=0) dz \right] dz}{\int_0^1 f(z/z=1) dz \int_0^1 f(z/z=0) dz} = 0. \quad (16)$$

Обозначим

$$\Delta = (1-p) f(z/z=0) \int_0^1 f(z/z=1) dz - p f(z/z=1) \int_0^1 f(z/z=0) dz,$$

тогда в соответствии с правилом Ньютона–Лейбница выражение (16) можно преобразовать к виду

$$p + \frac{F(\Delta)|_{z=1} - F(\Delta)|_{z=z_p}}{\int_0^1 f(z/z=1) dz \int_0^1 f(z/z=0) dz} = 0, \quad (17)$$

где $F(\Delta)$ – первообразная для Δ ; $F(\Delta)|_{z=1}$, $F(\Delta)|_{z=z_p}$ – подстановка в $F(\Delta)$ соответственно значений $z=1$ и $z=z_p$.

Преобразуем (17) к виду

$$F(\Delta)|_{z=z_p} = p \int_0^1 f(z/z=0) dz \int_0^1 f(z/z=1) dz + F(\Delta)|_{z=1}. \quad (18)$$

Откуда можно записать выражение для определения z_p :

$$z_p = F^{\text{ОБР}} \left[p \int_0^1 f(z/z=0) dz \int_0^1 f(z/z=1) dz + F(\Delta) \Big|_{z=1} \right], \quad (19)$$

где $F^{\text{ОБР}}[\dots]$ – функция преобразования, обратного первообразной $F(\Delta) \Big|_{z=z_p}$.

В таком виде практическое использование полученного выражения (19) представляется проблематичным, так как помимо конкретизации $f(z/z=0)$, $f(z/z=1)$ и сложностей определения первообразных $F(\Delta)$, на практике невозможно получить нулевые вероятности ошибок $P_{\text{ЛТ}}$ и $P_{\text{ПР}}$. Тем не менее выражение (19) может быть полезно с той точки зрения, что позволяет связать два противоречивых требования по величине z_p для обеспечения потенциально достижимой нулевой вероятности $P_{\text{ОШ}}$ принятия ошибочного решения при идентификации видового образа.

Статистическая оптимизация алгоритма идентификации

С учетом того, что на практике $P_{\text{ЛТ}}, P_{\text{ПР}} > 0$, рассмотрим процедуру синтеза значения порога z_p , минимизирующего $P_{\text{ОШ}}$ (12). Допустим, заданы максимально допустимые величины вероятностей $P_{\text{ЛТ}}$ и $P_{\text{ПР}}$, тогда значение z_p должно быть выбрано таким образом, чтобы обеспечить реальные величины $P_{\text{ЛТ}}$ и $P_{\text{ПР}}$ не выше заданных. При этом на основе критерия (12) можно составить следующую систему неравенств [8]:

$$\begin{cases} P_{\text{ЛТ}} \geq (1-p) \left[\int_{z_p}^1 f(z/z=0) dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=0) dz \right]; \\ P_{\text{ПР}} \geq p \left[\int_0^{z_p} f(z/z=1) dz \Big/ \int_0^1 f(z/z=1) dz \right]. \end{cases} \quad (20)$$

Из выражения (20) очевидно противоречие, заключающееся в том, что для снижения $P_{\text{ЛТ}}$ необходимо $z_p \rightarrow 1$, а для уменьшения $P_{\text{ПР}}$ необходимо $z_p \rightarrow 0$. Рассмотрим по очереди выражения из системы (20). Разделив обе части первого неравенства на $(1-p)$ и выполнив преобразование по формуле Ньютона–Лейбница, получим

$$\frac{P_{\text{ЛТ}}}{1-p} \geq \frac{F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=z_p}}{F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=0}}, \quad (21)$$

где $F_0(z)$ – первообразная для функции $f(z/z=0)$; $F_0(z) \Big|_{z=1}$, $F_0(z) \Big|_{z=z_p}$ и $F_0(z) \Big|_{z=0}$ – подстановка в $F_0(z)$ соответственно значений $z=1$, $z=z_p$ и $z=0$.

Из (20) получим выражение для минимально возможного значения z_p :

$$\begin{cases} F_0(z) \Big|_{z=z_p} \geq F_0(z) \Big|_{z=1} - \frac{P_{\text{ЛТ}} (F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=0})}{1-p} \text{ при } F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=0} \geq 0; \\ F_0(z) \Big|_{z=z_p} \leq F_0(z) \Big|_{z=1} - \frac{P_{\text{ЛТ}} (F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=0})}{1-p} \text{ при } F_0(z) \Big|_{z=1} - F_0(z) \Big|_{z=0} < 0. \end{cases} \quad (22)$$

С учетом вида $F_0(z)|_{z=z_p}$ систему (22) можно конкретизировать в следующей форме:

$$\begin{cases} z_p \geq F_0^{\text{ОБР}} \left[F_0(z)|_{z=1} - \frac{P_{\text{ЛТ}}(F_0(z)|_{z=1} - F_0(z)|_{z=0})}{1-p} \right] \text{ при } F_0(z)|_{z=1} - F_0(z)|_{z=0} \geq 0; \\ z_p \leq F_0^{\text{ОБР}} \left[F_0(z)|_{z=1} - \frac{P_{\text{ЛТ}}(F_0(z)|_{z=1} - F_0(z)|_{z=0})}{1-p} \right] \text{ при } F_0(z)|_{z=1} - F_0(z)|_{z=0} < 0, \end{cases} \quad (23)$$

где $F_0^{\text{ОБР}}[\dots]$ – функция преобразования, обратного первообразной $F_0(z)|_{z=z_p}$.

Оба неравенства в системе (23) отличаются друг от друга только знаком, который зависит от конкретного вида $F_0(z)|_{z=z_p}$ и соответственно функции $f(z/z=0)$.

Рассмотрим второе выражение из (20). Разделив обе его части на p и выполнив преобразование по формуле Ньютона–Лейбница, имеем

$$\frac{P_{\text{ПР}}}{p} \geq \frac{F_1(z)|_{z=z_p} - F_1(z)|_{z=0}}{F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0}}, \quad (24)$$

где $F_1(z)$ – первообразная для функции $f(z/z=1)$.

Из (24) получим выражение для максимально возможного значения порога z_p :

$$\begin{cases} F_1(z)|_{z=z_p} \leq F_1(z)|_{z=0} + \frac{P_{\text{ПР}}(F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0})}{p} \text{ при } F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0} \geq 0, \\ F_1(z)|_{z=z_p} \geq F_1(z)|_{z=0} + \frac{P_{\text{ПР}}(F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0})}{p} \text{ при } F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0} < 0. \end{cases} \quad (25)$$

По аналогии с конкретизацией (22)-(23), из (25) получаем систему:

$$\begin{cases} z_p \leq F_1^{\text{ОБР}} \left[F_1(z)|_{z=0} + \frac{P_{\text{ПР}}(F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0})}{p} \right] \text{ при } F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0} \geq 0, \\ z_p \geq F_1^{\text{ОБР}} \left[F_1(z)|_{z=0} + \frac{P_{\text{ПР}}(F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0})}{p} \right] \text{ при } F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0} < 0, \end{cases} \quad (26)$$

где $F_1^{\text{ОБР}}[\dots]$ – функция преобразования, обратного первообразной $F_1(z)|_{z=z_p}$.

По аналогии с (23) оба неравенства в (26) отличаются друг от друга знаком, который зависит от конкретного вида функции $f(z/z=1)$.

Таким образом, общее решение системы (20) будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} z_p \geq F_0^{\text{ОБР}} \left[F_0(z)|_{z=1} - \frac{P_{\text{ЛТ}}(F_0(z)|_{z=1} - F_0(z)|_{z=0})}{1-p} \right], \\ z_p \leq F_1^{\text{ОБР}} \left[F_1(z)|_{z=0} + \frac{P_{\text{ПР}}(F_1(z)|_{z=1} - F_1(z)|_{z=0})}{p} \right], \end{cases} \quad (27)$$

где знаки неравенств в первом и втором выражении определяются соответственно функциями $f(z/z=0)$ и $f(z/z=1)$.

Система неравенств (27) определяет оптимальные по критерию (12) пределы для значения порога z_p правила принятия решения. Найти его представляется возможным при заданных p , $P_{ЛГ}$, $P_{ПР}$ и после конкретизации вида функций $f(z/z=0)$ и $f(z/z=1)$.

Пример оптимизации метода и результаты его статистических испытаний

Рассмотрим в качестве примера частный случай, когда плотность распределения p интересующего образа линейна и имеет вид $f(z/z=1) = z$, $z \in [0,1]$, а плотность распределения вероятности $1-p$ равномерна – $f(z/z=0) = a$, где a – некоторая константа, $a \in [0,1]$. Определим значение порога z_p , обеспечивающее в данном случае предельно достижимую (стремящуюся к нулю) вероятность ошибочных решений НС $P_{ЛГ} + P_{ПР}$. В соответствии с (12) уравнение будет иметь вид

$$(1-p)(1-z_p) + pz_p^2 = 0. \tag{28}$$

Решая (28) относительно z_p , или преобразуя (28) согласно (13)–(19), получаем, вследствие наличия квадрата, два корня, которые будут являться комплексными:

$$z_p^{\circ 1,2} = \frac{1-p \pm \sqrt{5p^2 - 6p + 1}}{2p}, \tag{29}$$

где знак \circ говорит о комплексном характере $z_p^{1,2}$.

На рис. 1 приведены зависимости действительных частей ($\text{Re}\left(z_p^{\circ}\right)$) и моду-

лей ($\left|z_p^{\circ}\right|$) комплексных корней $z_p^{\circ 1,2}$ (29) от вероятности p , $p \in [0,1]$.

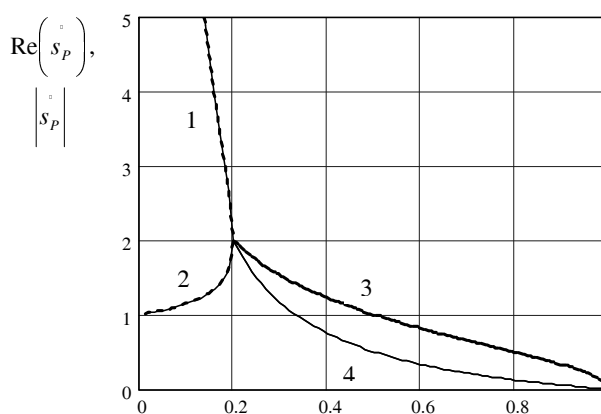


Рис. 1. Зависимости действительных частей и модулей (29) от p :

кривые 1-4 – $\text{Re}\left(z_p^{\circ 1}\right)$; 2-4 – $\text{Re}\left(z_p^{\circ 2}\right)$; 1-3 – $\left|z_p^{\circ 1}\right|$; 2-3 – $\left|z_p^{\circ 2}\right|$.

Из рис. 1 видно, что равенства $\operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p^1\right) = \operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p^2\right)$ и $\left|\overset{\circ}{z}_p^1\right| = \left|\overset{\circ}{z}_p^2\right|$ имеют место на интервале $p \in [0.2, 1]$, причем на интервале $p \in [0, 0.2]$ наблюдаются равенства действительных частей модулям своих комплексных: $\operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p^1\right) = \left|\overset{\circ}{z}_p^1\right|$ и $\operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p^2\right) = \left|\overset{\circ}{z}_p^2\right|$. Так как значения $z_p \in [0, 1]$, то характер $\operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p\right)$ и $\left|\overset{\circ}{z}_p\right|$ на рис. 1 следует учитывать при $\operatorname{Re}\left(\overset{\circ}{z}_p\right) \leq 1, \left|\overset{\circ}{z}_p\right| \leq 1$. На этом участке наблюдается их монотонное убывание с ростом p .

Рассмотрим процедуру оптимизации z_p для случая, когда заданы уровни $P_{ЛТ}$ и $P_{ПР}$. В соответствии с (27) составим систему неравенств для рассматриваемого частного случая

$$\begin{cases} P_{ЛТ} \geq (1-p)(1-z_p), \\ P_{ПР} \geq pz_p^2. \end{cases} \quad (30)$$

Решая систему (30), получим следующие корни:

$$\begin{cases} z_p^1 \geq 1 - \frac{P_{ЛТ}}{1-p}, \\ -\sqrt{\frac{P_{ПР}}{p}} \leq z_p^2 \leq \sqrt{\frac{P_{ПР}}{p}}. \end{cases} \quad (31)$$

Зависимость корня z_p^1 как функция двух переменных – $p \in [0, 1]$ и $P_{ЛТ} \in [0, 1]$ приведена на рис. 2, а аналогичная зависимость z_p^2 от $p \in [0, 1]$ и $P_{ПР} \in [0, 1]$ – на рис. 3.

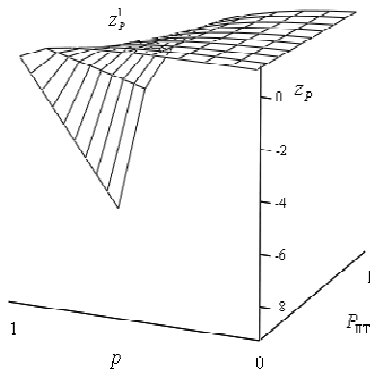


Рис. 2. Зависимость z_p^1 от p и $P_{ЛТ}$

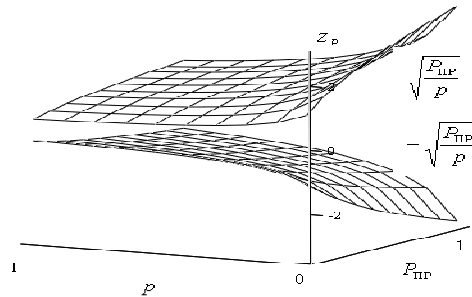


Рис. 3. Зависимость z_p^2 от p и $P_{ПР}$

Так как согласно постановке задачи стоимость ошибок $P_{ЛТ}$ и $P_{ПР}$, допускаемых идентификатором, их можно обозначить совместно на одной оси.

С учетом этого, а также того, что $z_p^{1,2}$ ограничены снизу и сверху соответственно плоскостями $z(p, P_{ЛТ}, P_{ПР})=0$ и $z(p, P_{ЛТ}, P_{ПР})=1$, решения будут иметь вид, показанный на рис. 4.

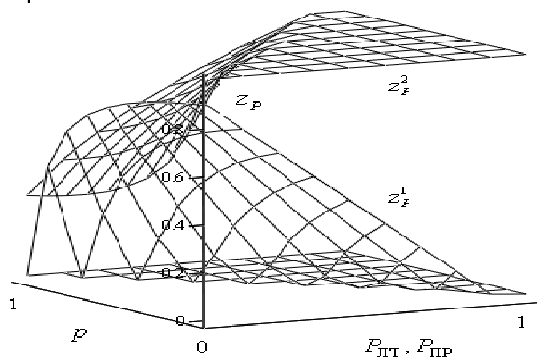


Рис. 4. Зависимости $z_p^1 \in [0,1]$ и $z_p^2 \in [0,1]$ от p и $P_{ЛТ}, P_{ПР}$

Таким образом, общим решением системы (31) будет область, одновременно принадлежащая двум найденным подобластям: $z_p = z_p^1 \cap z_p^2$, с учетом ограничений на интервал возможных значений порога: $z_p \in [0,1]$.

Так как согласно постановке задачи стоимость ошибок $P_{ЛТ}$ и $P_{ПР}$ одинакова, оптимальное значение z_p^{OPT} должно не только находиться внутри ограничений

$$\begin{cases} \{z_p^1 \cap z_p^2\}, 0 \leq \{z_p^1 \cap z_p^2\} \leq 1, \\ 0, \{z_p^1 \cap z_p^2\} < 0, \\ 1, \{z_p^1 \cap z_p^2\} > 1, \end{cases}$$

но и быть равноудалено от них:

$$z_p^{OPT} = \frac{\max \left[\begin{cases} \{z_p^1 \cap z_p^2\}, 0 \leq \{z_p^1 \cap z_p^2\} \leq 1, \\ 0, \{z_p^1 \cap z_p^2\} < 0, \\ 1, \{z_p^1 \cap z_p^2\} > 1 \end{cases} \right] + \min \left[\begin{cases} \{z_p^1 \cap z_p^2\}, 0 \leq \{z_p^1 \cap z_p^2\} \leq 1, \\ 0, \{z_p^1 \cap z_p^2\} < 0, \\ 1, \{z_p^1 \cap z_p^2\} > 1 \end{cases} \right]}{2}. \quad (32)$$

В соответствии с этим на рис. 4 значения порога должны находиться ниже верхней поверхности z_p^2 либо быть равны ей и выше нижней z_p^1 либо быть равны ей. Это требование выполняется практически по всей области значений $p \in [0,1]$, $P_{ЛТ}, P_{ПР} \in [0,1]$, кроме области пересечения поверхностей, где решений нет. Это соответствует ожидаемому характеру, так как при $P_{ОШ} = P_{ПР} + P_{ЛТ} \rightarrow 0$ и приближительной равновероятности наличия и отсутствия идентифицируемого образа на изображении ($p \approx 0,5$), противоречие по величине порога практически неразрешимо.

Выполнив усреднение (32) данных поверхностей, находим поверхность оптимальных пороговых параметров z_p^{OPT} , некоторые наиболее характерные, сечения которой приведены на рис. 5.

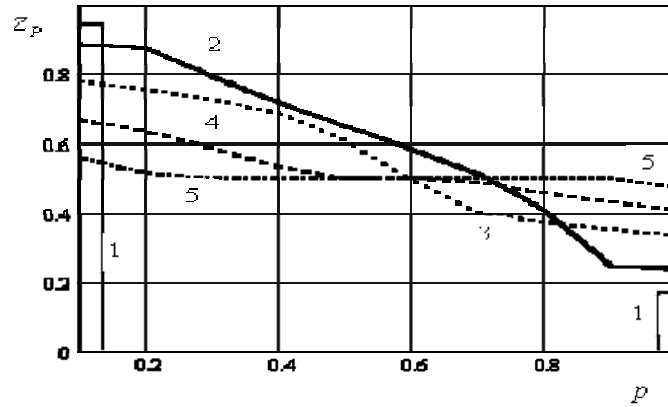


Рис. 5. Зависимость оптимального значения z_p^{OPT} от p при: 1 – $P_{PP}, P_{LT} = 0,1$; 2 – $P_{PP}, P_{LT} = 0,2$; 3 – $P_{PP}, P_{LT} = 0,4$; 4 – $P_{PP}, P_{LT} = 0,6$; 5 – $P_{PP}, P_{LT} = 0,8$

На данном рисунке приведены зависимость z_p^{OPT} от вероятности p при пяти значениях $P_{OШ}$. Как видно из рис. 5, при $P_{PP}, P_{LT} = 0,1$ зависимость имеет разрыв, показывающий отсутствие решения. При других значениях P_{PP}, P_{LT} наблюдается убывающий характер зависимости z_p^{OPT} от p , причем, чем больше допустимое значение $P_{OШ}$, тем этот характер менее выражен, а z_p^{OPT} стремится к значению 0,5.

Сопоставляя рис. 1 и 5 можно отметить, что характер зависимостей z_p от p , как в случае предельно достижимой нулевой вероятности ошибки (рис. 1), так и в случае оптимизации z_p^{OPT} (рис. 5), является идентичным.

Таким образом, для корреляционного идентификатора со структурой (1)–(2), предназначенного для решения задач повышения защищенности информации, найдены оптимальные по критерию идеального наблюдателя значения порога решающего правила.

При этом синтезированный идентификатор с учетом выражений (1), (2) и (30)–(32) будет функционировать в соответствии с выражением

$$H \Rightarrow \begin{cases} Z \geq z_p^{OPT} \rightarrow H_1 \forall i = k, j = l, \\ Z < z_p^{OPT} \rightarrow H_0 \forall i = k, j = l. \end{cases} \quad (33)$$

С целью сравнения качества функционирования синтезированного оптимального идентификатора (33) с классическим (2), проведены их статистические испытания, результаты которых приведены на рис. 2 и 3. Исследования проведены на многочисленных цифровых биометрических изображениях с $m \times n = 1280 \times 1280$, размер вложений $[\lambda]$ и $[y]$ составил 100×100 элементов. Величина порога неоптимального идентификатора (2) выбрана равной 0,5, оптимального – в соответ-

ствии с выражениями (30)–(32). В ходе исследований идентификаторов были определены зависимость вероятности пропуска от величины зашумленности образа (отношения потерянных элементов вложений к их общему числу), координаты которого необходимо найти, и зависимость вероятности ложной тревоги от степени зашумленности образа, похожего по форме на идентифицируемый. На рис. 6 представлена зависимость вероятности пропуска образа от величины его зашумленности q для двух сопоставляемых идентификаторов.

Из рис. 6 видно, что оптимальный идентификатор (33) обладает меньшей ошибкой, чем известный (2) при величине шума $q = 0,5...0,7$. На рис. 7 приведена зависимость вероятности ложной тревоги от величины q двух идентификаторов.

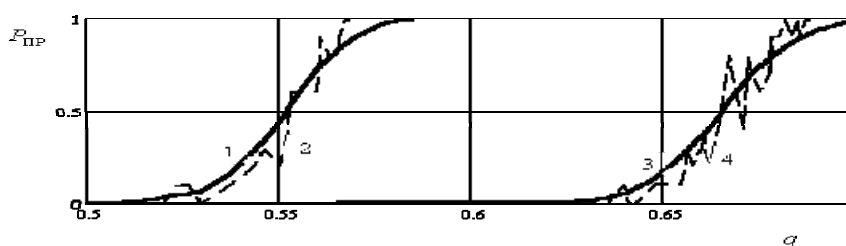


Рис. 6. Зависимость вероятности пропуска $P_{\text{ПР}}$ образа от величины шума q : кривая 1 – среднее значение для идентификатора (2); 2 – одна из реализаций идентификатора (2); кривая 3 – среднее значение для оптимального идентификатора (33); 4 – одна из реализаций идентификатора (33)

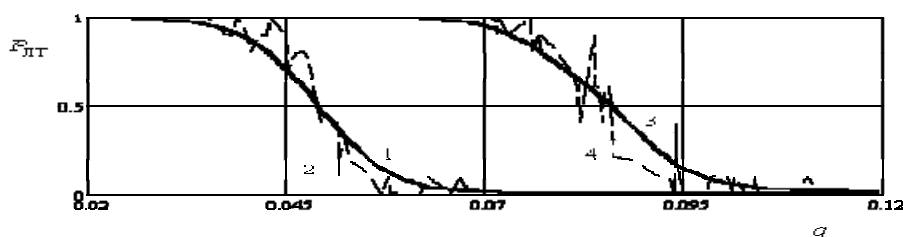


Рис. 7. Зависимость вероятности ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$ от величины шума q : кривая 1 – среднее значение для оптимального идентификатора (33); 2 – одна из реализаций идентификатора (33); кривая 3 – среднее значение для идентификатора (2); 4 – одна из реализаций идентификатора (2)

Из рис. 7 следует, что синтезированный идентификатор (33) обладает меньшей вероятностью ложного обнаружения, чем известный (2) в диапазоне величины шума $q = 0,023...0,12$.

Таким образом, результаты статистических испытаний синтезированного оптимального идентификатора (33) свидетельствуют о его преимуществе перед традиционным (2).

Выводы:

1. Предложенная процедура статистической оптимизации по критерию идеального наблюдателя пороговых параметров функции близости позволяет повысить качество функционирования корреляционных идентификаторов биометрических параметров личности.

2. Синтезированное выражение (19) позволяет связать два противоречивых требования по величине Z_p для обеспечения потенциально достижимой нулевой вероятности $P_{\text{ош}}$ принятия ошибочного решения при идентификации биометрического образа.

3. Синтезированные пороговые параметры позволяют получить наилучшие решения корреляционных идентификаторов-обнаружителей, что подтверждается результатами представленных статистических испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов А.И.* Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2000. – 188 с.
2. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания. – М.: Наука, 1979.
3. *Саниев К.Б.* Распознавание сигналов изображений // Радиотехника. – 2007. – № 4. – С. 9-15.
4. *Самойлин Е.А.* Метод адаптации размеров апертуры в задачах нелинейной фильтрации изображений // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52, № 7. – С. 831-837.
5. *Самойлин Е.А.* Метод раздельной помехоустойчивой адаптации апертуры ранговых фильтров для обработки изображений // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53, № 7. – С. 843-850.
6. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
7. *Самойлин Е.А.* Статистический синтез условно-оптимальных решающих правил при распознавании объектов на космических снимках Земли // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 2. – С. 28-35.
8. *Самойлин Е.А.* Корреляционный метод оценивания координат объектов на цифровых изображениях в оптико-электронных измерительных системах // Измерительная техника. – 2008. – № 9. – С. 23-29.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.А. Безуглов.

Шкарнда Екатерина Юрьевна

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ).

E-mail: ekaterinashkaranda@yandex.ru.

г. Ростов-на-Дону, ул. Горшкова, 9/1, кв. 34.

Тел.: +79289882829.

Кафедра информационных технологий и защиты информации; аспирант

Серпенинов Олег Витальевич

E-mail: serpeninov53@mail.ru.

г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 24/50.

Тел.: +79185751114.

Кафедра информационных технологий и защиты информации; к.т.н.; доцент.

Самойлин Евгений Александрович

Ростовский филиал Академии РВСН.

г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 24/50.

Тел.: +79085157501.

Начальник кафедры; к.т.н.

Shkaranda Ekaterina Urievna

Rostov State University of Economics.

E-mail: ekaterinashkaranda@yandex.ru.

9/1, Gorshkova Street, Sq. 34, Rostov-on-Don, Russia.

Phone: +79289882829.

The Department of Information Technology and Information Protection; Postgraduate Student.

Serpeninov Oleg Vitalevich

E-mail: serpeninov53@mail.ru.

24/50, M. Nagibin's Avenue, Rostov-on-Don, Russia.

Phone: +79185751114.

The Department of Information Technology and Information Protection; Cand. of Eng. Sc.;
Associate Professor.

Samoilin Evgenie Aleksandrovich

Rostov branch of Military Academy of Strategic Rocket Armed Forces Named after Peter-The-Great.

24/50, M. Nagibin's Avenue, Rostov-on-Don, Russia.

Phone: +79085157501.

The Chief of Department; Cand. of Eng. Sc.

УДК 004.056.5, 004.89

В.С. Аткина

**ПРИМЕНЕНИЕ ИММУННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА
КАТАСТРОФУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Целью исследования является предложение нового подхода к анализу катастрофоустойчивости информационных систем, построенного по принципу биоаналогии на базе технологии искусственных иммунных систем. Задачи, решаемые в исследовании: обоснование возможности применения искусственных иммунных систем для описания и моделирования катастрофоустойчивых систем; определение принципов функционирования катастрофоустойчивой информационной системы, синтез модели. Результаты исследования: выделены целевые характеристики иммунной системы, разработана и описана модель катастрофоустойчивой информационной системы с применением иммунного подхода. Описан процесс подбора катастрофоустойчивых решений на основе механизма иммунного ответа.

Информационная система; катастрофоустойчивость; катастрофоустойчивые решения; искусственные иммунные системы; иммунный ответ.

V.S. Atkina

**APPLICATION OF IMMUNE NETWORK FOR ANALYSIS OF
KATASTROFOUSTOJSIVOSTI INFORMATION SYSTEMS**

The goal is to propose a new immunologically-inspired approach to analyze the disaster tolerance information system. The problems solved in the study: rationale possibility of using artificial immune systems for the description and simulation of disaster tolerance systems; defining the principles of operation of disaster tolerance information system; synthesis the model. The results of the research are: the focused target properties of immune systems; the model of disaster tolerance information a system is developed and described using the immune approach; described the process selection of disaster recovery solutions based on the mechanism of the immune response.

Information system; disaster tolerance; disaster recovery solutions; artificial immune systems; immune response

Настоящее время характеризуется постоянным возникновением чрезвычайных ситуаций различного рода в самых различных областях человеческой деятельности. Изменение климата, и как следствие стихийные бедствия, имеющие самые различные последствия для всех сфер жизни общества (например, события в Японии 2011 г.), террористическая угроза (особенно после известных событий 11 сентября 2001 г. в