

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕДУРЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ШАБЛОНОВ

Ю.Ю. Козина

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: yuliyakc@mail.ru

В работе предложен помехоустойчивый метод классификации с обучением в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования. В целях применения гиперболического вейвлет-преобразования к обработке изображений получено его дискретное представление. Изображение рассматривается как двумерная матрица с дискретными отсчетами.

Ключевые слова: гиперболическое вейвлет-преобразование, помехоустойчивость, шаблон, матрица

Введение

На современном этапе производства изделий микроэлектроники возникла потребность в производстве мелких и средних партий (около 50 тыс. в месяц), предназначенных для использования в аппаратуре специального назначения [1]. Контроль качества изделий микроэлектроники осуществляется с помощью программно-аппаратных комплексов (ПАК), включающих подсистемы формирования, регистрации и распознавания изображений. При этом используются сложные и дорогостоящие осветительно-фокусирующие устройства (ОФУ), телевизионные датчики (ТД) высокого разрешения и устройства точной механики, обеспечивающие высокие производительность и достоверность контроля качества шаблонов (носителей информации про размеры и конфигурацию изделий микроэлектроники). Стоимость таких комплексов составляет в среднем 100 тыс. у.е. за единицу. В таких условиях применение существующих ПАК приводит к неоправданному росту стоимости процесса контроля качества шаблонов. Таким образом, существует противоречие между высокой стоимостью систем контроля, предназначенных для массового производства, и необходимостью производства мелких и средних партий изделий. Это противоречие может быть разрешено снижением требований к ОФУ, ТД и устройствам точной механики. Однако, снижение требований к ОФУ приводит к неравномерной освещенности шаблонов и, следовательно, к появлению мультипликативных помех, а снижение требований к ТД приводит к появлению аддитивных помех. В условиях помех со значениями отношения сигнал/шум для аддитивной помехи 8..11 (по мощности) и 7..10 для мультипликативной помехи (по мощности) существующие ПАК не работоспособны. Кроме того, малые объемы обучающей выборки, характерные для мелкосерийного производства изделий, также уменьшают достоверность распознавания изображений, а, следовательно, и достоверность контроля качества шаблонов. Для решения этой научно-практической задачи необходимо разрабатывать системы, обеспечивающие высокую достоверность контроля качества шаблонов в условиях помех и малых обучающих выборок. В настоящее время таковыми являются системы искусственного интеллекта (СИИ) [2-5].

Цель статьи и постановка задания

При реализации СИИ для контроля качества шаблонов выполняется ряд процедур. Выявлено, что основным источником помех при этом являются процедуры локализации и классификации реперных знаков (РЗ) [6].

Реперные знаки – это объекты известной формы, которые наносятся на поверхность шаблона и используются для позиционирования шаблонов относительно друг друга. Процедура локализации РЗ предусматривает определение координат их местоположения на изображении шаблона. Процедура классификации РЗ предусматривает определение класса, к которому он принадлежит. Эти процедуры должны быть реализованы с высокой точностью и помехоустойчивостью.

При позиционировании шаблонов по РЗ их локализация, выделение и прослеживание контуров реализуется в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования (ГВП) [7]. Идентификация осуществляется на базе структурно-статистического метода по характерным точкам контура РЗ [8]. После проведения процедуры локализации и идентификации выполняется процедура классификации в признаковом пространстве.

Среди классических методов реализации алгоритмов классификации выделяют градиентный метод, в частности метод градиентного спуска (ГС) [9]. Градиентные методы обладают рядом недостатков: чувствительность к начальной точке поиска, в условиях шумов оценка градиента затруднена и направление поиска выбирается неверно.

Целью работы является разработка помехоустойчивого метода классификации с обучением в пространстве ГВП.

Основная часть

В работе предложен помехоустойчивый метод классификации с обучением в пространстве ГВП. В целях применения ГВП к обработке изображений получено его дискретное представление. В данном случае изображение рассматривается как двумерная матрица с дискретными отсчетами. Строка либо столбец изображения рассматривается как дискретная последовательность $\{z_c\}$. ГВП некоторой дискретной последовательности $\{z_c\}$ определяется как свертка этой последовательности с базисной функцией $\Omega(\tau)$, которая соответствующим образом перенормируется с масштабом s (длина носителя гиперболического вейвлет-фильтра) и сдвигается по пространственной шкале на интервал $c\Delta\tau$:

$$WH(c,s) = \sum_{c'=0}^{C-1} z_{c'} \Omega^* \left(\frac{(c'-c)\Delta\tau}{s} \right), \quad (1)$$

где C – длина дискретной последовательности $\{z_c\}$.

Помехоустойчивый метод классификации реализован на основе субградиентного итеративного поиска экстремумов в пространстве ГВП. При его реализации выполняются следующие шаги:

Шаг 1. Определяются эмпирически длина носителя s и шаг итерации ϕ .

Шаг 2. Задается начальное приближение поиска минимума функционала качества $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$, где \mathbf{x} – вектор случайных возмущений; $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ – вектор настраиваемых параметров.

Шаг 3. С помощью пробного изменения в обоих направлениях от начального приближения с интервалом Δ , в зависимости от длины носителя s строятся

розділяючі поверхності (РП) і вичислюється функція помилок $ES(\mathbf{w}, i)$ при пробному зміні (рис. 1):

$$\mathbf{w}_i = \mathbf{w}_0 \pm \Delta, \quad (2)$$

де

$$i = \overline{1, s};$$

$$\Delta = \frac{\mu_1 - \mu_2}{4} \text{ – інтервал зміни } \mathbf{w}_0;$$

$(\mu_1 - \mu_2)$ – відстань між центрами класів.

Шаг 4. Вичислюється свертка функції помилок $ES(\mathbf{w}, i)$, отриманої при пробному зміні, з функцією $\Omega(i)$:

$$\mathbf{HK}(\mathbf{w}) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s ES(\mathbf{w}, i) \cdot \Omega(i). \quad (3)$$

Шаг 5. Визначається точка мінімуму функціонала якості $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ в відповідності с:

$$\mathbf{w}[k+1] = \mathbf{w}[k] + \phi[k] \mathbf{HK}(\mathbf{w}[k]), \quad k = 0, 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

де

ϕ – крок ітерації;

$\mathbf{HK}(\mathbf{w}[k])$ – оцінка субградієнта в точці $\mathbf{w}[k]$ по (3);

K – визначається умовами зупинки алгоритму пошуку мінімуму $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$.

Умовою зупинки алгоритму пошуку мінімуму функціонала $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ є зміна знаку свертки ГВП (рис. 2). Вибрана довжина носія $s = 17$, при якому алгоритм (4) підвищує ймовірність виходу в область глобального мінімуму функціонала якості $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$.

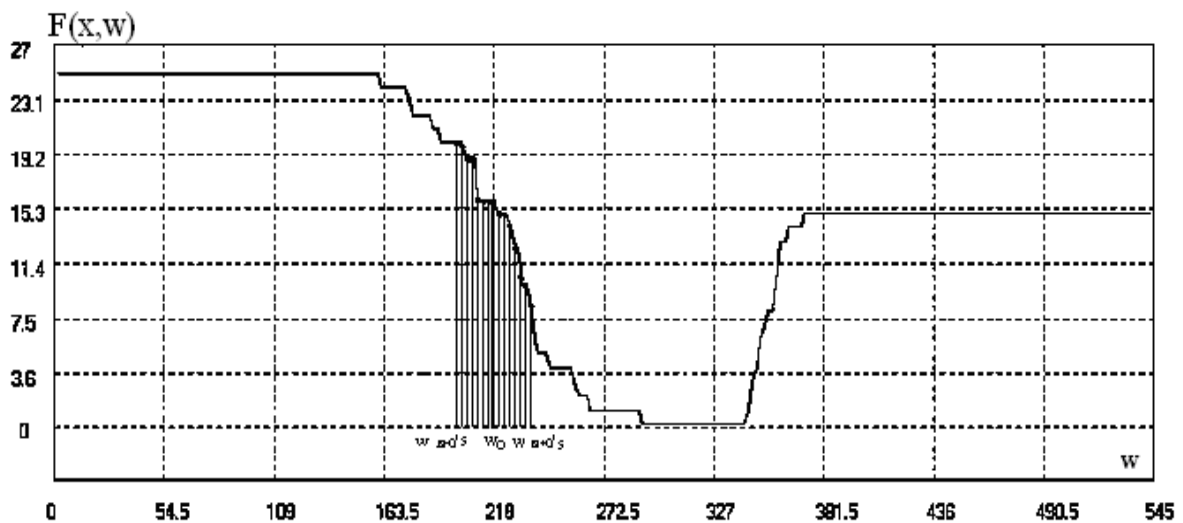


Рис. 1. Визначення функції помилок $ES(\mathbf{w}, i)$ при пробних збільшеннях

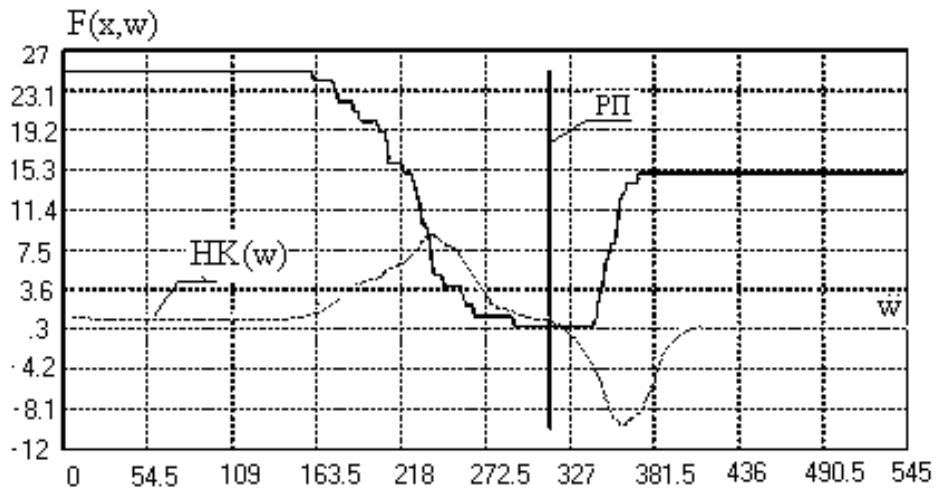


Рис. 2. Поиск минимума функционала качества $F(x, w)$

В целях определения шага итерации ϕ проведены исследования скорости сходимости алгоритма (4) при различных длинах носителя s и отношениях сигнал/шум q по мощности (рис. 3).

На основании приведенных зависимостей, например для $q=8$, рекомендован выбор шага итерации ϕ для каждого s : при $s_1=6$ – $\phi = \Delta/6$; при $s_2=17$ – $\phi = \Delta/15$; $s_3=30$ – $\phi = \Delta/21$.

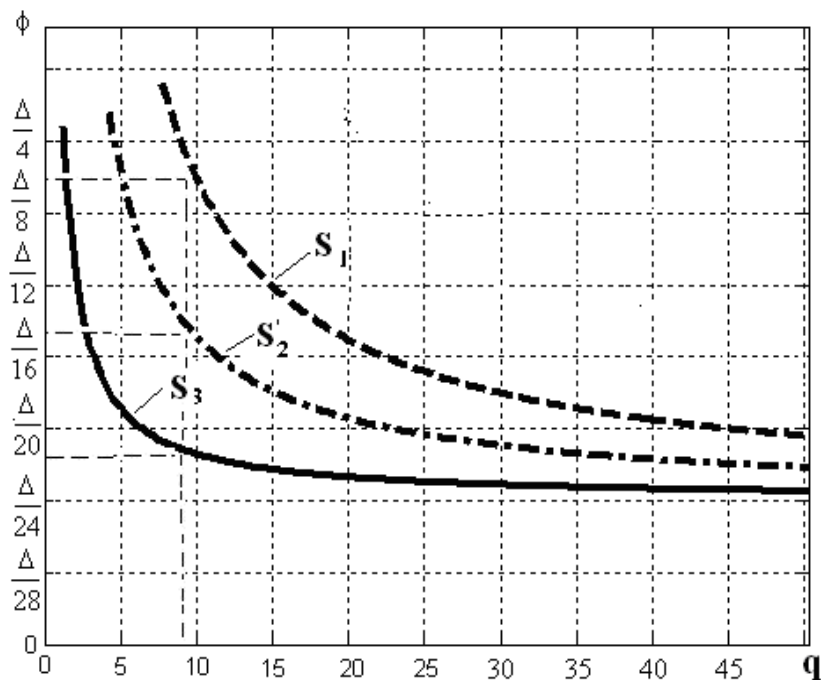


Рис. 3. Зависимость шага итерации ϕ от отношения сигнал/шум q по мощности при различных значениях длины носителя s ($s_1 < s_2 < s_3$)

Выполнен сравнительный анализ результатов применения метода ГС и метода на основе ГВП. Для этого в работе этими методами построены РП в двумерном прост-

ранстве признаков x_1, x_2 и выполнен поиск минимума функционала $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ для непересекающихся, близко расположенных и пересекающихся кластеров РЗ. Рассматривается случай двух классов. На рис. 4 представлен результат построения РП и поиска минимума $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ для непересекающихся классов методом ГС (РП1) и методом на основе ГВП (РП2) ($s = 17$).

Как видно из рис. 4, алгоритм поиска на основе метода ГС, позволил выйти в область глобального минимума, но остановился в относительной близости к ошибке. Это связано с тем, что направление движения к минимуму функционала $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ определяется с точностью до знака направления градиента. Критерием завершения поиска будет выход на прямолинейный участок функционала $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$, т.е. $\partial F / \partial w = 0$.

При построении РП для близко расположенных (рис. 5) и пересекающихся кластеров РЗ (рис. 6) методом ГС получим ошибку, за счет остановки в локальном минимуме $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$. Применение разработанного метода на основе ГВП в данных случаях позволило повысить вероятность достижения области глобального минимума.

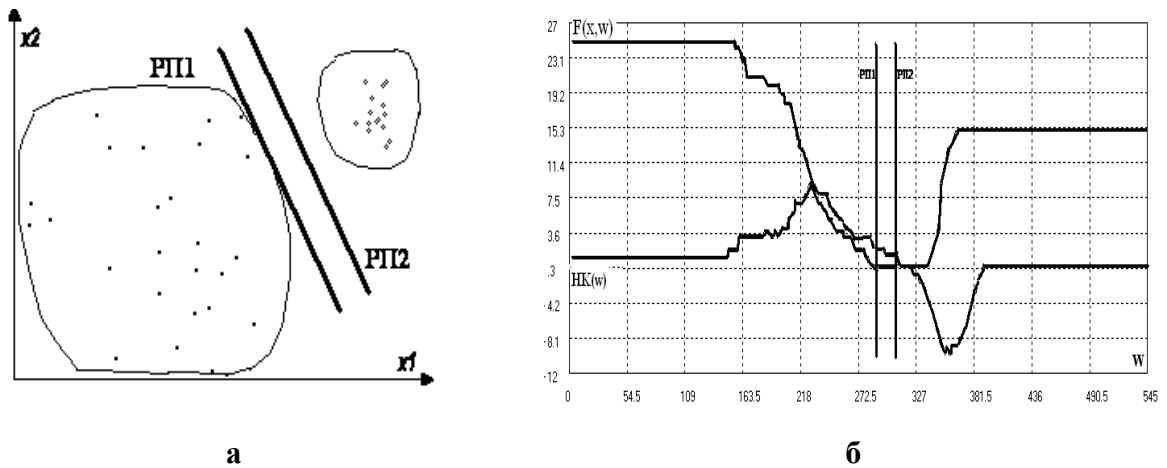


Рис. 4. Построение РП и поиск минимума $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ для непересекающихся кластеров: кластеры РЗ в двумерном пространстве признаков (а); графики изменения $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ и $НК(\mathbf{w})$ (б)

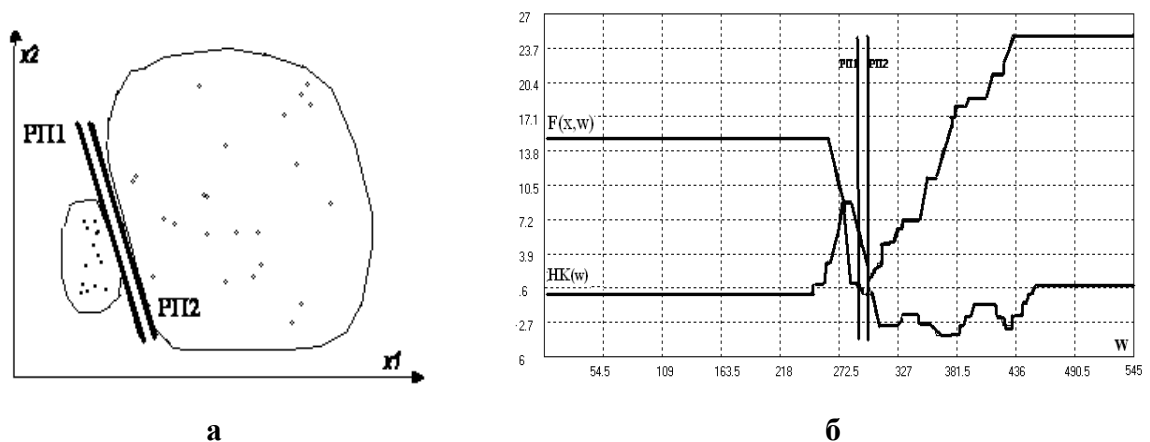


Рис. 5. Построение РП и поиск минимума $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ для близко расположенных классов: кластеры РЗ в двумерном пространстве признаков (а); графики изменения функций $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ и $НК(\mathbf{w})$ (б)

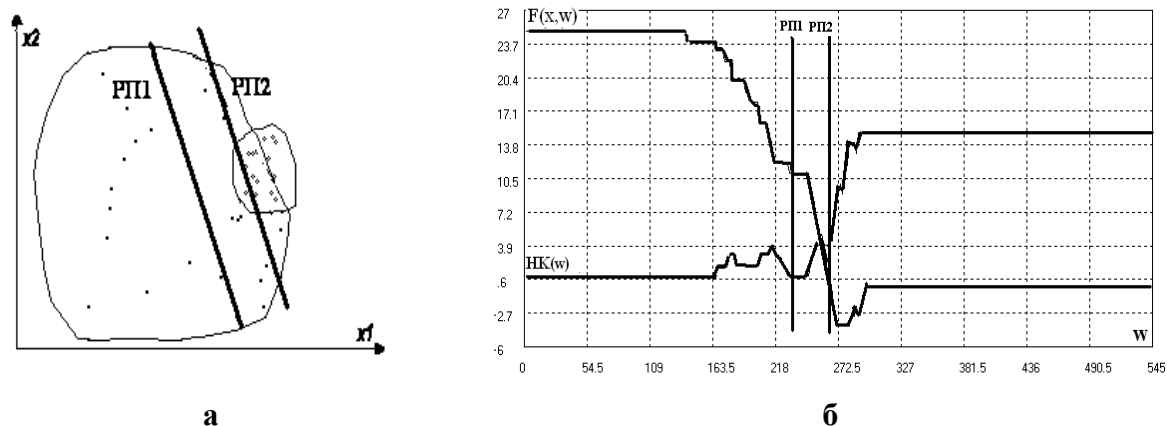


Рис. 6. Построение РП и поиск минимума $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ для пересекающихся классов: кластеры РЗ в двумерном пространстве признаков (а); графики изменения функций $F(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ и $\mathbf{НК}(\mathbf{w})$ (б)

Для исследования помехоустойчивости разработанного метода классификации создана модель ситуации изменения шумов (рис. 7). Данная ситуация может сложиться в условиях малого объема обучающей выборки и изменяющейся во время технологического процесса дисперсии кластеров РЗ.

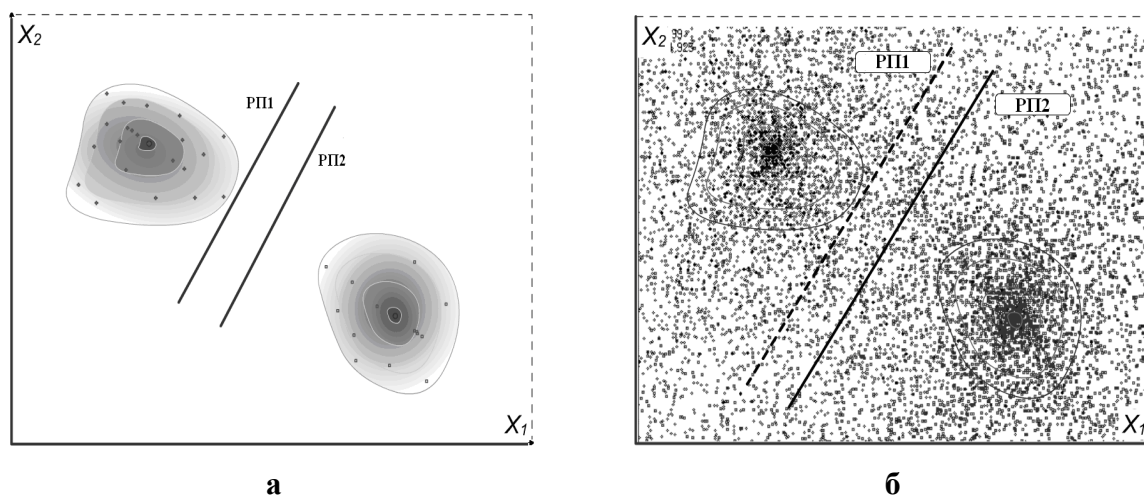


Рис. 7. Моделирование ситуации изменения шумов: режим обучения – построение РП (а); рабочий режим – классификация образов РЗ относительно РП (б)

В этих условиях выполнена классификация образов РЗ в рабочем режиме. Получены оценки зависимости изменения суммарной вероятности ошибок первого и второго рода P от среднеквадратического отклонения g , которое представляет собой численную характеристику разброса образов РЗ относительно центра кластера (рис. 8). При этом предложено определить g так:

$$g = \frac{g_r}{g_0}, \quad (5)$$

где

g_r – среднеквадратическое отклонение рабочего режима;
 g_0 – среднеквадратическое отклонение режима обучения.

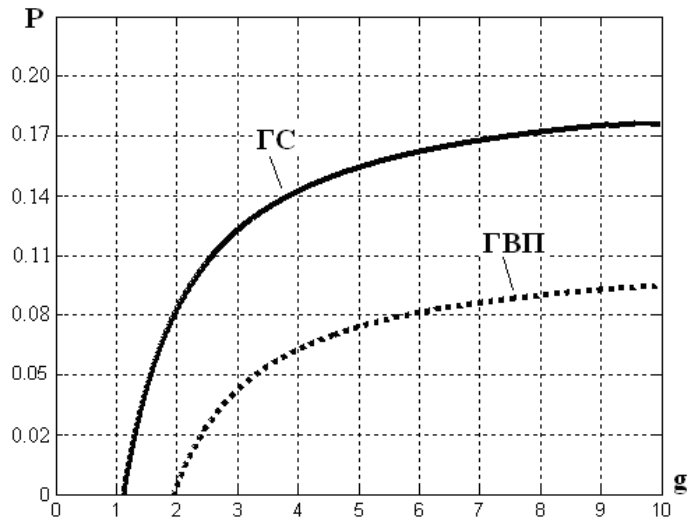


Рис. 8. Зависимость изменения суммарной вероятности ошибок первого и второго рода P от среднеквадратического отклонения g

Заключение

Эксперименты показали, что в результате применения разработанного метода классификации суммарная вероятность ошибок первого и второго рода уменьшилась до 1.5 раз по сравнению с методов ГС, при изменении среднеквадратического отклонения от 1 до 10 в пространстве признаков. На основании этого можно сделать вывод о повышении помехоустойчивости процедуры классификации РЗ в условиях помех и малых объемах обучающей выборки.

Список литературы

1. Задорин А.Ю. Система автоматизированного визуального контроля печатных плат Aplite / А.Ю. Задорин, Г.Б. Захарова // Chip News. Инженерная микроэлектроника. – 2002. – № 10. – С. 53-56.
2. Уинстон П.Г. Искусственный интеллект [Текст] / П.Г. Уинстон; пер. В.Л. Стефанюк, ред. Д.А. Поспелов. – М. : Мир, 1980. – 519 с.
3. Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем [Текст] / Д.Ф. Люггер ; пер. с англ. Н.И. Галаган [и др.]. – М. ; СПб. ; К. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 863 с.: рис.
4. Распознавание образов [Текст] : состояние и перспективы / К. Верхаген, Р. Дёйн, Ф. Грун и др.; Пер. с англ. Н.Г. Гуревич, Под ред. И.Б. Гуревича. – М. : Радио и связь, 1985. – 103 с. : ил.
5. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект [Текст] : Учеб. пособие для студ. вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь : Издательство СевНТУ, 2002. – 615 с.
6. Гаршин В. Автоматы установки компонентов серии X^{II} / В. Гаршин, Г. Егоров // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2004. – № 5. – С. 16-18.
7. Антошук С.Г. Обработка изображений в области гиперболического вейвлет-преобразования / С.Г. Антошук, В.Н. Крылов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – № 2(12). – С. 7-10.

8. Щербакова Г.Ю. Идентификация изображений реперных знаков в системах АОК ИЭТ / Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов, Ю.Ю. Козина// Труды Седьмой междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ-2006), 22 – 26 мая 2006 г., Одесса, Украина. – Одесса: ВМВ. – 2006. – С. 67.
9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] : пер. с англ. / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс ; ред. пер. ЧоП. А. Чочиа. – М. : Техносфера, 2006. – 1070 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРОЦЕДУРИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИ КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ШАБЛОНІВ

Ю.Ю. Козина

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: yuliyakc@mail.ru

У роботі запропоновано завадостійкий метод класифікації з навчанням в просторі гіперболічного вейвлет-перетворення. З метою застосування гіперболічного вейвлет-перетворення до обробки зображень отримано його дискретне представлення. Зображення розглядається як двовимірна матриця з дискретними відліками.

Ключові слова: гіперболічне вейвлет-перетворення, завадостійкість, шаблон, матриця

NOISE STABILITY INCREASE OF CLASSIFICATION PROCEDURE UNDER QUALITY CONTROL OF TEMPLATES

Yuliya Yu. Kozina

Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: yuliyakc@mail.ru

In current article noise stability classification method of training in hyperbolic wavelet transformation space is suggested. For purposes of applying of hyperbolic wavelet transformation to image processing, its discrete representation is received. An image is considered as two-dimensional matrix with discrete counting.

Keywords: hyperbolic wavelet transformation, noise stability, template, matrix