

5. Heuberger, P. S. C. Modelling and Identification with Rational Orthogonal Basis Functions [Text] / P. S. C. Heuberger, P. M. J. Van Den Hof, B. Wahlberg. – New York: Springer, 2005. – 401 p. – ISBN 1-85233-956-X. doi:10.1007/1-84628-178-4
6. Tufa, L. D. Closed-loop identification of systems with uncertain time delays using ARX–OBF structure [Text] / L. D. Tufa, M. Ramasamy // Journal of Process Control. – 2011. – Vol. 21, № 8. – P. 1148–1154. doi:10.1016/j.jprocont.2011.06.021
7. Ландманн, И. Разработка и исследование алгоритмического и программного обеспечения для идентификации динамических объектов в АСУ ТП [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / И. Ландманн. – М., 1984. – 190 с.
8. Wahlberg, B. System identification using Kautz models [Text] / B. Wahlberg // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1994. – Vol. 39, № 6. – P. 1276–1282. doi:10.1109/9.293196
9. Залманзон, Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях [Текст] / Л. А. Залманзон. – М.: Наука, 1989. – 496 с. – ISBN 5-02-014094-5.
10. E Silva, T. O. Laguerre Filters – An Introduction [Text] / T. O. e Silva // Revista Do Detua. – 1995. - Vol. 1, № 3. – P. 237–248.
11. De Hoog, T. J. Rational Orthonormal Bases and Related Transforms in Linear System Modeling [Text]: PhD Thesis / T. J. de Hoog. – Minneapolis, 2001. – 211 p.
12. Wang, L. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB [Text] / L. Wang. – London: Springer-Verlag, 2009. – 375 p. - ISBN 978-1-84882-330-3. doi:10.1007/978-1-84882-331-0
13. Михайленко, О. Ю. Удосконалення математичної моделі конусної дробарки з урахуванням розділення камери дроблення на зони [Текст]: зб. наук. пр. / О. Ю. Михайленко // Вісник Криворізького національного університету. – 2013. – Вип. 35. – С. 163–170.
14. Изерман, Р. Цифровые системы управления [Текст] / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.

Запропоновано метод адаптивного пригнічення шуму у растровому образі креслення деталі, що враховує специфічні особливості сканованих зображень креслень, а також властиві їм типи та характер шуму. Запропонований метод передбачає аналіз зображення, на підставі якого обирається найбільш відповідний йому спосіб пригнічення шуму. Проведені експерименти підтвердили ефективність даного методу

Ключові слова: креслення, монохромний, бінарні, шум, контрастність, контур, метод, апертура, примітив, фільтр

Предложен метод адаптивного подавления шума в растровом образе чертежа детали, учитывающий специфические особенности сканированных изображений чертежей, а также присущие им типы и характер шума. Предложенный метод предполагает анализ изображения, на основании которого выбирается наиболее подходящий для него способ подавления шума. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность данного метода

Ключевые слова: чертёж, монохромный, бинарный, шум, контрастность, контур, метод, апертура, примитив, фильтр

УДК 004.93
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47415

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АДАПТИВНОГО МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА В РАСТРОВОМ ОБРАЗЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ

В. С. Молчанова

Старший преподаватель

Кафедра информатики

ГВУЗ «Приазовский государственный

технический университет»

пр. Ленина, 74, г. Мариуполь, Украина, 87500

E-mail: vp24@yandex.ru

1. Введение

По оценке International Data Corporation в Мире имеется более 5 млрд. чертежей, которые до сих пор хранятся не в электронной форме, а в бумажных архивах. Предметной областью данного исследования являются автоматизированные системы инженерного документооборота, преобразующие цифровые копии бумажных чертежей деталей в модели, пригодные для обработки в САПР. Такая трансформация растровых образов чертежей деталей предусматривает: бина-

ризацию, фильтрацию, скелетизацию и векторизацию чертежей деталей. При оцифровке и препроцессировании чертежей деталей в их растровых образах появляются паразитные артефакты (шум и искажения). С точки зрения проблемы шумоподавления наиболее значимыми особенностями растровых образов чертежей деталей являются: контурно-штриховой стиль со скачкообразно-меняющейся яркостью пикселей и наличие геометрических примитивов размером в несколько пикселей. При фильтрации шума это может привести к классификации примитивов как шума с их

удалением из образа. Поэтому, качество метода фильтрации оценивается такими критериями, как: способность удалять паразитные артефакты и способность сохранять топологию контура детали.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Известно несколько базовых концепций подавления шума в изображениях:

- методы пространственной фильтрации образа, основанные на анализе выборки пикселей, накрываемой апертурой фильтра, типичным представителем которых является медианный [1], хорошо справляются с удалением шума на непрерывных полутоновых изображениях, но размывают контуры деталей чертежей штрихового стиля со скачкообразно-меняющейся яркостью пикселей, размеры которых меньше размера апертуры;

- методы частотной фильтрации образа путём его Фурье-преобразования из пространственных координат в частотные [2] хорошо ликвидируют размытие контуров деталей, но и делают более чёткими точечные и штриховые артефакты шума, типичные для копий чертежей деталей на «синьке»; при обработке неоднородных участков растрового образа чертежа детали импульсная характеристика частотного фильтра сужается, и неоднородности, вместе с присутствием из шумом, передаются из исходного зашумлённого изображения в результирующее почти без фильтрации;

- методы морфологической фильтрации, основанные на композиции изображения и структурного элемента [3], не дают существенного эффекта для монохромных образов чертежей деталей; в бинарных же образах эти методы хорошо ликвидируют разрывы контура детали, однако и вызывают заливку областей чертежа с расстоянием между геометрическими примитивами, сопоставимым с размерами структурного элемента;

- методы фильтрации, использующие аппарат нечёткой логики для группировки полезного сигнала и шума в соответствии с функцией принадлежности (например, расширенный фильтр Калмана с прогнозом состояния и его уточнением по текущему измерению [4] или медианный фильтр с использо-

ванием нечёткой базы правил [5]), эффективны при обработке полутоновых цветных и монохромных образов, но малоэффективны для фильтрации бинарных образов.

Поскольку ни один из существующих методов подавления шума в изображениях сам по себе не даёт хорошего результата применительно к растровым образам чертежей деталей, то необходима разработка гибридного метода фильтрации шума, учитывающего специфические особенности рассматриваемой предметной области.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является нивелирование дефектов оцифровки чертежей деталей.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо было разработать оригинальный и эффективный гибридный метод, объединяющий существующие и специально разработанные методы шумоподавления, адаптивный к специфическим характеристикам монохромных и бинарных растровых образов чертежей деталей.

4. Методы шумоподавления в растровых образах чертежей деталей

4.1. Метод нивелирования дефектов оцифровки в монохромных растровых образах чертежей деталей

Особенностью метода является нивелирование монохромного шума автоматической настройкой тона на основе анализа гистограмм яркости и контрастности монохромного растрового образа чертежа детали. Монохромные растровые образы чертежей деталей (например, рис. 1, *a*), вследствие недостатков оцифровки, обычно искажены: аддитивным гауссовым шумом (рис. 1, *б*), световым шумом (рис. 1, *в*, *г*), нарушением резкости (рис. 1, *д*), аддитивным равномерным фоновым шумом (рис. 1, *е*).

Метод предполагает автоматическую поэтапную тоновую коррекцию образа на основе анализе гистограмм яркости и контрастности (рис. 2, *a*, *б*).

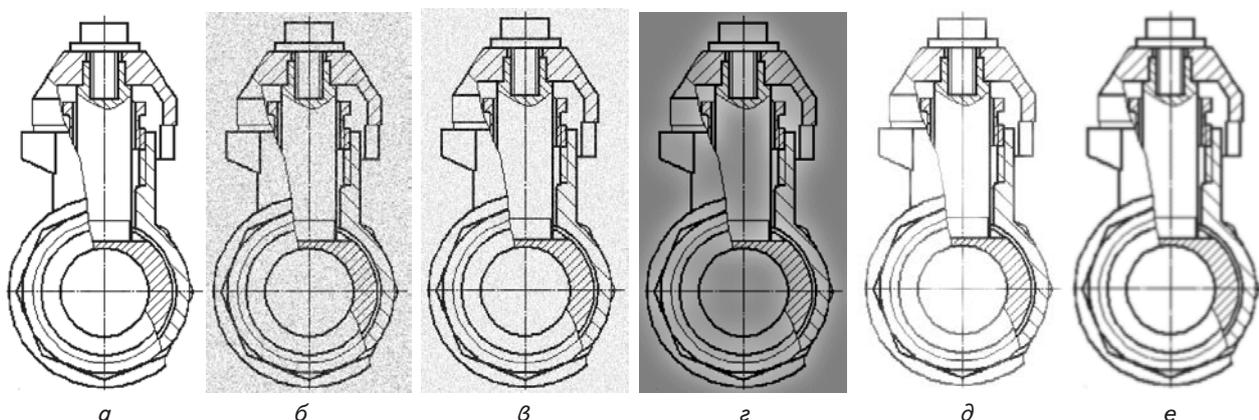
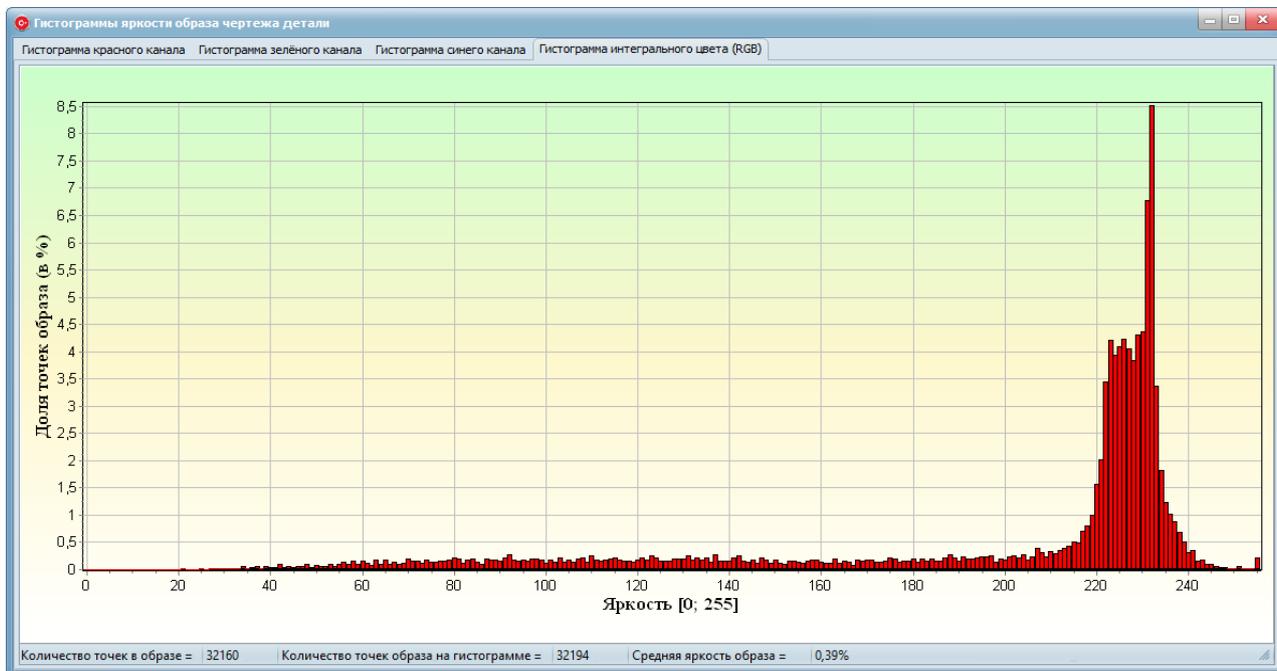
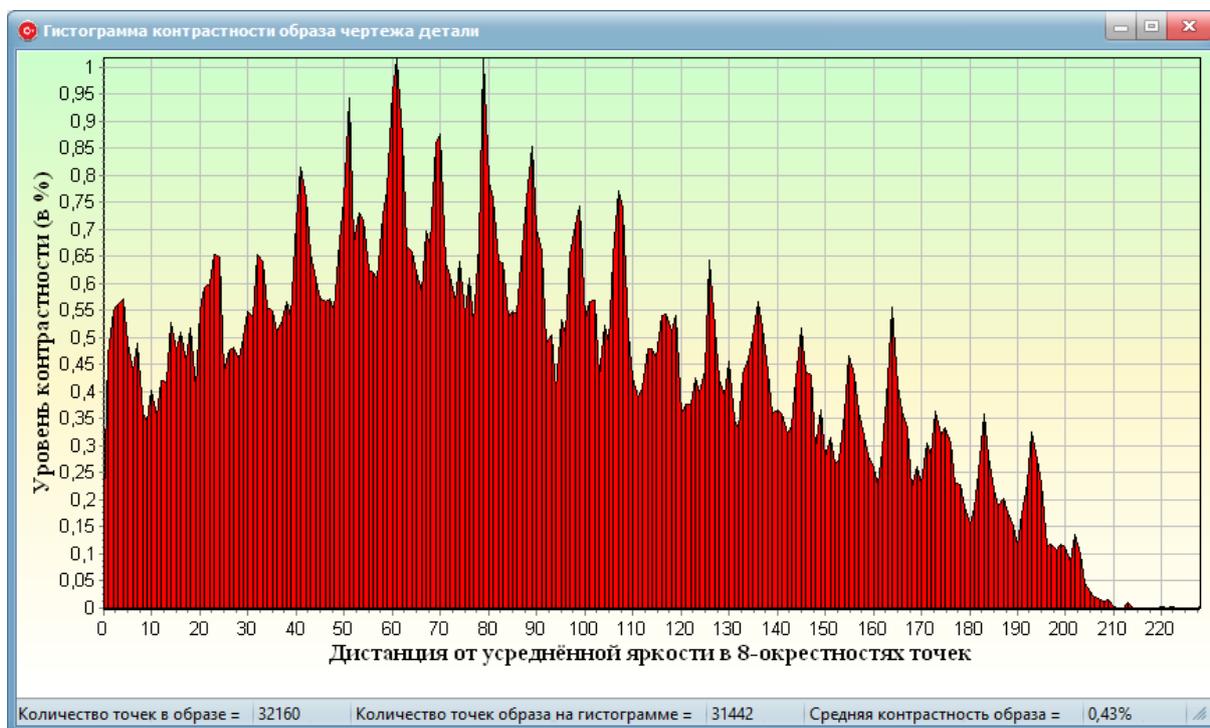


Рис. 1. Пример монохромного растрового образа чертежа детали: *a* – идеальный образ (без шума); *б* – образ, искаженный аддитивным гауссовым шумом; *в* – образ, искаженный аддитивным равномерным фоновым шумом; *г*, *д* – образ, искаженный световым шумом; *е* – образ, искаженный нарушением резкости



а



б

Рис. 2. Примеры гистограмм: а – яркости; б – контрастности

Считается, что идеальная гистограмма яркости должна иметь форму кривой Гаусса, представляя стандартное нормальное распределение яркостей пикселей на всём диапазоне. Однако для контурно-штриховых образов чертежей деталей это принципиально недостижимо из-за группировки тонов в зонах затенения и подсветки. Но можно приблизить форму гистограмм к идеальной использованием методов тоновой коррекции образов. Контрастность образа – это соотно-

шение между наиболее яркими и наиболее тёмными участками образа, представляющее собой динамический диапазон яркости. Для монохромных образов в оттенках серого цвета максимальный динамический диапазон яркостей – [0;255]. Образ с меньшим диапазоном выглядит ненасыщенным. Считается, что образ имеет идеально сбалансированную контрастность, если гистограмма его контрастности близка к функции $\varphi(x) = x^{c-1}$, где c – степень контрастности. Для по-

строения гистограммы контрастности в данной работе использована дискретная функция (1) [6].

$$g\left(D\left(r_{(i,j)}, \Omega_{r_{(i,j)}}^8\right)\right) \left| D\left(r_{(i,j)}, \Omega_{r_{(i,j)}}^8\right) = \left| r_{(i,j)}, \overline{\Omega_{r_{(i,j)}}^8} \right|, i, j \in [-1; +1], \quad (1)$$

где $r_{(i,j)}$ – яркость точки образа, $\Omega_{r_{(i,j)}}^8$ – 8-окрестность точки образа, $D\left(r_{(i,j)}, \Omega_{r_{(i,j)}}^8\right)$ – правило сравнения $r_{(i,j)}$ с яркостями пикселей 8-окрестности $\Omega_{r_{(i,j)}}^8$ точки образа.

Гистограммы яркости и контрастности растровых образов чертежей деталей могут иметь различную форму и характеристики. Так, например, для образов чертежей деталей на носителе «белая бумага», зашумлённых гауссовым шумом, гистограммы яркости имеют выраженную унимодальную форму и характеризуются узким тоновым диапазоном с пиковой яркостью точек 40–60 %, долей ≈ 80 % подсветки в тоновом диапазоне при относительной ширине диапазона подсветки 2–4 %. Гистограммы контрастности при этом характеризуются неравномерной контрастностью в целом с высокой степенью контрастности в локальных областях образа, в основном в окрестности контура (вследствие контурно-штрихового характера образа). В итоге для растрового образа чертежа детали характерны: разнообразие характеристик образов, выполненных на разных носителях и зашумленных различными типами шума, резкие перепады уровней скачкообразно-меняющихся яркости и контрастности, неравномерно распределённые по образу, наличие шума, аддитивного по отношению к полезному сигналу и имеющего тот же диапазон тонов, что и полезный сигнал.

Для нивелирования тональных дефектов зашумлённого полутонного растрового образа чертежа детали целесообразно выполнить его автоматическое контрастирование. Это позволит не только улучшить согласование динамического диапазона яркости образа, но и попутно нивелировать его искажения. Процедура нивелирования представляет собой итерационный процесс:

Шаг 1. Контрастность образа увеличивается на 1 % в диапазоне 0–100 %. Для этого яркость $r_{(i,j)}^{RGB}$ каждой RGB-компоненты цвета каждого пиксела образа пересчитывается по формуле (2).

Шаг 2.

$$r_{(i,j)}^{RGB} = \frac{r_{(i,j)}^{RGB} \cdot 100 - 255 \cdot V_c}{100 - V_c}, \quad (2)$$

где: $r_{(i,j)}^{RGB}$, $r_{(i,j)}^{RGB}$ – новое и текущее значения RGB-компоненты, V_c – устанавливаемое значение контрастности образа (%).

Шаг 3. По формулам (3)–(4) рассчитывается среднеквадратическое отклонение (СКО) [7] и пиковое отношение «сигнал/шум» (ПОСШ) [8] образа:

Шаг 4.

$$СКО = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \cdot \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left(\frac{r'_{(i,j)} - r_{(i,j)}}{r_{(i,j)}} \right)^2}, \quad (3)$$

$$ПОСШ = 20 \cdot \lg \frac{256}{СКО}, \quad (4)$$

где M, N – габаритные размеры образа, $r'_{(i,j)}$, $r_{(i,j)}$ – значения яркости в точке (i, j) фильтрованного и исходного образов.

Шаг 5. Рассчитывается изменение ПОСШ на двух соседних итерациях: $\Delta ПОСШ = |ПОСШ_i - ПОСШ_{i-1}|$. Если $\Delta ПОСШ > \epsilon$ (ϵ – наперёд заданная погрешность расчёта) и контрастность образа не превышает 100 %, то управление передаётся шагу 1. В противном случае образ считается контрастированным оптимальным образом.

Шаг 6. Выполняется эквализация образа [9] – преобразование с целью равномерного (равномерного) распределения яркости по холсту образа – с целью приближения гистограммы яркости образа к идеальной. Для этого строятся: гистограмма $\{H_i\}$ яркости образа и накопительная гистограмма

$$\{H'_i\} = H_i + H'_{i-1} (i \in [1; N = 255]).$$

Яркость $Y_{(i,j)}^{RGB}$ каждой RGB-компоненты каждого пиксела образа при этом корректируется согласно формуле (5).

$$Y_{(i,j)}^{RGB} = \frac{N}{M \cdot N} \cdot \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} H'^{RGB}_{(i,j)}. \quad (5)$$

Эквализация «проявляет» малозаметные детали образа, в том числе и шум.

Шаг 7. По формулам (3), (4) рассчитывается СКО и ПОСШ для эквализированного образа.

Шаг 8. Рассчитывается разница $ПОСШ_{ЭК}$ для эквализированного и контрастированного образов: $\Delta ПОСШ_{ЭК} = |ПОСШ_{ЭК} - ПОСШ_{контр}|$. Если $\Delta ПОСШ_{ЭК} > \epsilon$, то управление передаётся шагу 1.

Шаг 9. К результирующему образу применяются: ранговая фильтрация экстремальным фильтром [10] и фильтрация заданным порогом яркости $k \in [0; 255]$ (обычно $k=127$).

На рис. 3 показан пример оригинального образа чертежа детали (рис. 3, а) и результаты его последовательной автоматической обработки методами: контрастирования (рис. 3, б), ранговой фильтрации экстремальным фильтром (рис. 3, в), фильтрации пороговым фильтром (рис. 3, г).

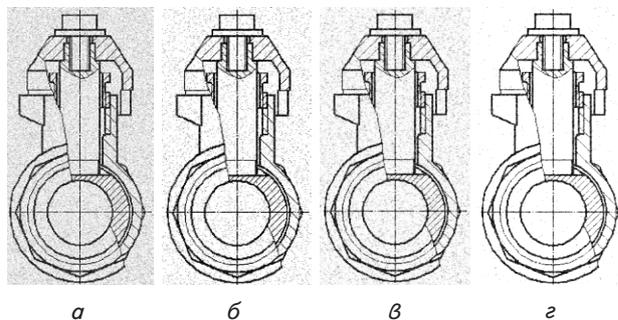


Рис. 3. Результат обработки монохромного образа чертежа детали: а – образ, зашумленный 25 % гауссовым шумом; б – образ (а), обработанный методом контрастирования; в – образ (б), обработанный методом ранговой фильтрации экстремальным фильтром; г – образ (в), обработанный методом пороговой фильтрации

Вышеописанный метод нивелирует не только большую часть монохромного шума, но и большинство вы-

шперечисленных артефактов и искажений, присущих такому образу (рис. 1, а–д).

4. 2. Метод шумоподавления в бинарных растровых образах чертежей деталей

Для бинарных растровых образов чертежей деталей характерно наличие аддитивного шума (в том числе и привносимого методами бинаризации монохромных образов) трёх типов: гауссов шум (обозначим его как ШГ) (рис. 4, а) с нормальным распределением бинарных пикселей по образу, импульсный шум (ШИ) (рис. 4, б) с равномерным распределением бинарных пикселей по образу, шум «твёрдого карандаша» (ШТ) (рис. 4, в) с хаотичным распределением белых пикселей и их конгломератов по контуру образа. Возможна также композиция этих видов шума.

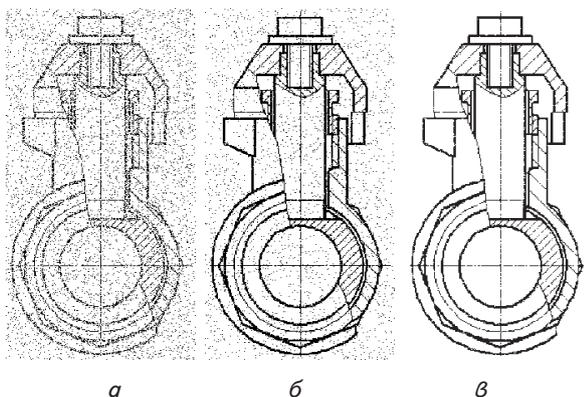


Рис. 4. Примеры 25 % зашумления бинарного образа чертежа детали: а – гауссовым шумом; б – импульсным шумом; в – шумом «твёрдого карандаша»

Особенностью метода является адаптивное нивелирование бинарного шума с подбором методов фильтрации, размеров и конфигураций структурных элементов фильтров в зависимости от оценок индивидуальных характеристик локальных участков обрабатываемого образа: толщин линий геометрических примитивов контура, пространственного распределения и уровня шума.

4. 2. 1. Оценка толщин линий геометрических примитивов контура

Для исключения удаления из образа вместе с шумом и полезного сигнала (точек, принадлежащих тонким геометрическим примитивам контура детали, например, осевым линиям и штриховкам), целесообразно привязать выбор параметров фильтров (например, диаметра структурного элемента) к толщинам {W} линий геометрических примитивов контура. Поскольку бинарный образ чертежа детали зашумлён случайно распределёнными по образу чёрными и белыми артефактами (точками и их конгломератами), то перед оценкой {W} зашумлённый образ целесообразно подвергнуть грубой очистке от шума медианным фильтром с квадратной апертурой $\Omega = \{\omega_{(i,j)}\} \in \{0, 1\}$ минимального диаметра $d_\Omega = 3$ (дабы избежать размывания контура детали).

Предлагается статистический метод поблочной оценки толщины линии контура примитива. Пусть в

некотором фрагменте образа детали (блоке d_6) размером $(\psi \times \psi) | \psi \leq W$ – контуру принадлежат все пиксели; тогда толщина W_6 контура в данном блоке оценивается как ψ . Если же контур занимает лишь часть блока, то его толщину в блоке можно оценить целой величиной $W_6 = q / \psi$, где q – количество чёрных точек $r_{(i,j)}$, принадлежащих контуру. Поскольку блок может содержать и ничтожную часть контура, принимается аксиома (6).

$$W_6 = \begin{cases} \left\lfloor \frac{q}{\psi} \right\rfloor & \forall q \leq \frac{\psi^2}{2} \\ \left\lceil \frac{q}{\psi} \right\rceil & \forall q > \frac{\psi^2}{2} \end{cases} \quad | \quad q = \sum_{i=0}^{\psi-1} \sum_{j=0}^{\psi-1} r_{(i,j)}. \quad (6)$$

Так, например, для двух фрагментов контура, расположенных в блоках в $\psi = 7$ (рис. 5, а, б), значения q составляют 27 и 24, а оценки W_6 в обоих случаях равны 4, что соответствует растровой толщине линии в «шахматной» метрике.

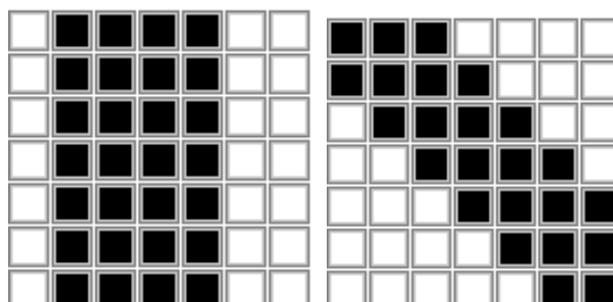


Рис. 5. Примеры фрагментов контура детали: а – фрагмент вертикальной линии; б – фрагмент диагональной линии

Поскольку оценка W_6 привязана к блокам образа, то образ следует фрагментировать на K блоков $\{d_{6k}\}_1^K$ с размерами $\psi \times \psi$. Принимая во внимание случайный характер шума в бинарном образе, цвета его пикселей можно рассматривать как статистическую выборку. Это позволяет с доверительной вероятностью 95 % рассчитать допустимый размер блока $\psi^2 \geq 40$ (например, 7×7), соответствующий гипотезе распределения шума и теоретическому ограничению снизу, накладываемому на размер апертуры фильтра.

4. 2. 2. Оценка типа и уровня шума в бинарном образе чертежа детали

Необходимость оценки типа и уровня шума в каждом блоке растрового образа чертежа детали объясняется целесообразностью адаптивного выбора метода, который бы подавлял шум корректно (не удаляя тонкие линии контура) и наиболее эффективно. Для проверки искажения образа шумом ШГ необходимо проверить гипотезу о нормальности распределения яркости $r_{(i,j)}$ пикселей шума в образе, для этого рассчитать: математическое ожидание $M(r_{(i,j)})$, дисперсию $D(r_{(i,j)})$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma(r_{(i,j)})$ по формулам (7)–(9):

$$M(r_{(i,j)}) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} r_{(i,j)}}{M \cdot N}, \quad (7)$$

$$D(r_{(i,j)}) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} r_{(i,j)}^2 - \left(\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} r_{(i,j)} \right)^2}{M \cdot N - 1}, \quad (8)$$

$$\sigma(r_{(i,j)}) = \sqrt{D(r_{(i,j)})}. \quad (9)$$

Из неравенства Чебышёва [11] следует, что при нормальном распределении вероятность того, что случайная величина отстоит от своего $M(r_{(i,j)})$ более чем на $\delta \cdot \sigma(r_{(i,j)})$, составляет $< \frac{1}{\delta^2}$. Тогда, если $r_{(i,j)} \in [M(r_{(i,j)}) \pm 2 \cdot \sigma]$, то с вероятностью 95 % шум в образе можно считать гауссовым. Если же гипотеза о нормальности распределения шума в образе не подтвердилась, то шум может быть классифицирован как Ш_И или Ш_Т. Заметим, что $\sigma_k^{(Ш_Т)} \ll \sigma_k^{(Ш_И)}$ поскольку пиксели шума Ш_Т сосредоточены на контуре (для поблочного расчёта математического ожидания M_k , дисперсии D_k и среднеквадратического отклонения σ_k в формулах (7)–(9) достаточно M и N заменить на ψ). Тогда для идентификации типа шума в блоке достаточно задать порог t_p разделения шума по типам. Поскольку контур детали на чертеже в среднем занимает $1/7$ – $1/8$ площади чертежа, то $t_p = 0,134 \pm \xi$ (ξ – допустимая погрешность расчёта). В таком случае тип шума для k -го блока можно определить по формуле (10). Оценка степени зашумлённости каждого k -го блока образа и образа в целом может быть получена вычислением УИК [12] по формулам (11), (12):

$$\text{Ш}^{(k)} = \begin{cases} \text{Ш}_И & \forall \sigma_k > t_p \cdot \bar{\sigma}_k \\ \text{Ш}_Т & \forall \sigma_k \leq t_p \cdot \bar{\sigma}_k \end{cases} \quad \forall t_p = 0,134 \pm \xi, \bar{\sigma}_k = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sigma_k, \quad (10)$$

$$\text{УИК}_k = \frac{\sigma_{RR^*}}{\sigma_R \sigma_{R^*}} \cdot \frac{2\overline{RR^*}}{(\overline{R})^2 + (\overline{R^*})^2} \cdot \frac{2\sigma_R \sigma_{R^*}}{\sigma_R + \sigma_{R^*}}, \quad (11)$$

$$\text{УИК} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \text{УИК}_k, \quad (12)$$

где R, R^* – исходный и фильтрованный образы, $\overline{R}, \overline{R^*}, \sigma_R^2, \sigma_{R^*}^2$ – средние значения и дисперсии яркостей точек образов R и R^* , σ_{RR^*} – ковариация значений яркостей точек образов R и R^* . Для оценки степени зашумлённости образа чертежа детали может быть использован и показатель ПОСШ = $20 \cdot \log_{10} \frac{2}{C_{\text{СКО}}}$. Оценка уровня шума D^* в образе чертежа детали в целом, согласно блочному методу, выполняется согласно выражению (13)

$$D^* = \frac{1}{k^*} \sum_{k=1}^{k^*} \min_k(D_k). \quad (13)$$

Для этого множество дисперсий блоков $\{D_k\}_1^{k^*}$ ранжируется по возрастанию и из него выбирается $k^* = \text{const}$ членов с наименьшим значением D_k , по которым и рассчитывается D^* (таким образом, для оценки уровня шума используются наименее «гладкие» блоки).

4. 2. 3. Метод шумоподавления в бинарных растровых образах чертежей деталей

Для подавления интенсивного шума типов Ш_Т и Ш_И обычно используется медианный фильтр с большим диаметром d_Ω апертуры. Однако, при больших значениях d_Ω искажается контур, к тому же в пределах блока небольшого размера интенсивность шума низка. Исследованиями установлен оптимальный диаметр апертуры $d_\Omega = 1,5 \cdot W$ с привязкой его к толщине W контура в блоке. При этом не теряются тонкие линии и не нарушается связность контура детали. Бинарный шум типов Ш_Т, Ш_И, Ш_Т составляют чёрные и белые артефакты (точки и их конгломераты), причём чёрные артефакты поражают фон чертежа, а белые – контур детали, вследствие чего на контуре появляются пропуски и разрывы размером в 1–3 пиксела (рис. 6, а, б). Для удаления из образа артефактов чёрного цвета (рис. 6, а) разработан метод контурных масок, идея которого основана на распознавании формы фрагментов изображения. Экспериментально подтверждено, что для удаления из образа артефактов белого цвета (рис. 6, б) можно применить морфологический фильтр «закрытие» [2] с квадратным структурным элементом $\Omega | d_\Omega = 0,8 W, d_\Omega \geq 3$ (для уменьшения высокочастотного шума и сглаживания контура примитива в блоке), а также метод kFill [1]. Для удаления контурной «бахромы» (рис. 6, в) применяется апертурный метод фильтрации шума с масками, показанными на рис. 7 [13]. Результат последовательной обработки образа указанными методами практически не содержит шума (рис. 6, г) и характеризуется высоким качеством (УИК=0,98).

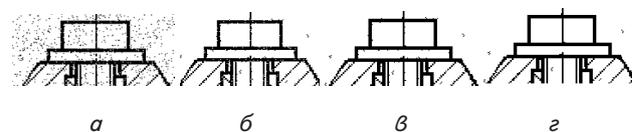


Рис. 6. Результат обработки бинарного образа чертежа детали: а – фрагмент образа чертежа детали, поражённого 25 % композитным бинарным шумом; б – фрагмент образа (а), обработанного методом контурных масок; в – фрагмент образа (б), обработанного методами: морфологическим и kFill; г – фрагмент образа (в), обработанный фильтром удаления контурной «бахромы»

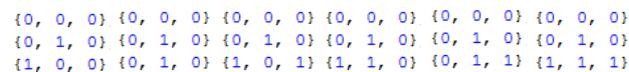


Рис. 7. Маски для удаления контурной бахромы

Рассмотрим подробнее разработанный метод контурных масок. В пиксельном масштабе бинарные пиксели контура образуют форму либо в виде прямого угла «└», либо в виде отрезка прямой «—» с вариантами, моделируемыми вращением базовой формы на углы, кратные $\pm 90^\circ$. Такие контурные формы используются в качестве «масок» для опознавания принадлежности пиксела контуру детали. Если анализируемая точка P в её 8-окрестности не образует со своими соседями, по крайней мере, одну контурную форму, то она опознаёт-

ся как шум. Если точка Р в её 8-окрестности имеет всего одну соседнюю чёрную точку, то она может быть и концевой точкой контура, поэтому требуется анализ вариантов соседства точек в 25-окрестности точки Р (рис. 8, а-г). В особых случаях (рис. 8, д-е) (с вариантами поворота на 45°) точка Р не удаляется, поскольку она может быть частью чертежа, например, частью осевой линии).

При наличии у точки Р одного соседа в вертикальном или горизонтальном направлении, необходимо и достаточно проанализировать 3 дополнительные точки (на рис. 8 они показаны серым цветом), а при наличии одного соседа в диагональном направлении – 5 дополнительных точек в 25-окрестности точки Р. Если хотя бы одна из этих точек является чёрной, то точка Р считается конечной точкой контура, а в противном случае – точкой шума.

Процесс удаления шума типа Ш_Т модифицированным апертурным методом kFill состоит в формировании цвета базового пиксела анализом квадратной апертурой $\Omega|d_{\Omega}=W$ по формуле (14)

$$f = \left\{ (c=1) \text{ и } \left\{ (n > 3 \cdot W - 4) \text{ или } \left[(n = 3 \cdot W - 4) \text{ и } (r = 2) \right] \right\} \right\},$$

$$r_{(i,j)} = \begin{cases} \text{false}, & \forall f = \text{false}, n < \frac{W^2}{2}, \\ \text{true} & \forall f = \text{false}, n > \frac{W^2}{2}, \end{cases} \quad (14)$$

где n, c, r – соответственно, количество чёрных точек и их связанных групп, а также угловых чёрных точек в апертуре. Поскольку шум Ш_Т вызывает не только разрывы, но и истончение контура, то для идентификации такого эффекта нужно по формуле (15) рассчитать уровень шума (S_k) в k-ом блоке.

$$S_k = \frac{R_k - Z_k}{Z_k} | R_k = \sum_{i=0}^{\psi-1} \sum_{j=0}^{\psi-1} r_{(i,j)}, Z_k = \sum_{i=0}^{\psi-1} \sum_{j=0}^{\psi-1} z_{(i,j)} \geq 1, \quad (15)$$

где R_k, Z_k – количество чёрных пикселей в k-ом блоке зашумленного и грубо очищенного от шума образа. При $S_k < 0,3$ применение медианного фильтра к утонщённым линиям в блоках приводит либо к удалению из образа тонких линий примитивов целиком, либо к нарушению их целостности.

Тогда при $S_k < 0,3$ целесообразно:

– сначала для ликвидации белых артефактов применить морфологический фильтр «закрытие» с квадратным структурным элементом диаметром $d_{\Omega}=W$;

– затем, во избежание потери полезного сигнала, использовать логический фильтр с апертурой Ω диаметром $d_{\Omega}=3$ по правилу принятия решения (16)

$$R'_k = R_k \Rightarrow \Omega | r'_0 = -r'_0 \vee \begin{cases} \Omega = 000010000 & \forall r'_{(i,j)} = 1, \\ \Omega = 111101111 & \forall r'_{(i,j)} = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Это позволяет удалить изолированные точки шума, сохранив при этом примитив, даже если его толщина составляет всего 1 пиксел.

При $S_k \geq 0,3$ целесообразно:

– сначала применить медианный фильтр (который даёт наилучший результат при нормальном распределении шума по образу) с апертурой $\Omega|d_{\Omega}=1,5 \cdot W$;

– затем использовать морфологический фильтр «закрытие» с квадратным структурным элементом $\Omega|d_{\Omega}=\Omega \cdot 0,8 \cdot W$. Это позволяет уменьшить высокочастотную составляющую шума и сгладить контур примитива в блоке.

5. Результаты исследования методов шумоподавления в растровых образах чертежей деталей

Для исследования качества шумоподавления разработанного метода (далее он назван ФИЛЬТРАТОР) в качестве альтернативных методов фильтрации изображений использованы методы пространственной, частотной и морфологической фильтрации; эти методы либо универсальны, либо разрабатывались для решения подобных задач. Сравнение результатов фильтрации осуществлялось по критериям: СКО, ПОСШ, УИК. В тестовой выборке участвовало 20 базовых образов чертежей деталей, содержащих типовые искажения, присущие рассматриваемой предметной области (рис. 1, 4). Основные результаты оценки качества фильтрации тестируемыми методами представлены в табл. 1 (лучшие результаты выделены полужирным шрифтом).

Результаты оценки методов, представленные в табл. 1, показывают, что для подавляющего большинства тестовых растровых образов чертежей деталей метод ФИЛЬТРАТОР имеет:

– наименьшее значение СКО и ПОСШ, что свидетельствует о достаточно высоком объективном качестве фильтрации изображения;

– значение УИК, наиболее близкое к 1, что свидетельствует о достаточно высоком субъективном качестве фильтрации изображения.

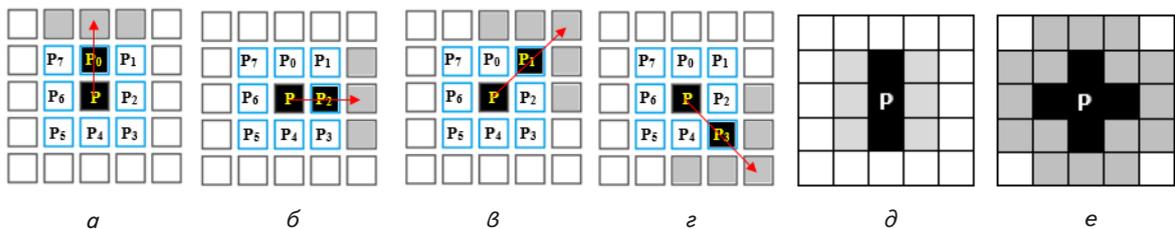


Рис. 8. Пример анализа 25-окрестности точки Р методом контурных масок: а, б – при наличии соседней точки в вертикальном и горизонтальном направлениях; в, г – при наличии соседней точки в диагональных направлениях; д, е – особые случаи связности точек

Таблица 1

Результаты тестирования методов фильтрации растровых образов чертежей

№	Пространственная фильтрация			Частотная фильтрация			Морфологическая фильтрация			ФИЛЬТРАТОР		
	СКО	ПОСШ	УИК	СКО	ПОСШ	УИК	СКО	ПОСШ	УИК	СКО	ПОСШ	УИК
1	0,13	28,50	0,73	0,93	24,22	0,16	0,23	27,26	0,63	0,13	28,50	0,93
2	0,11	28,86	0,72	0,75	24,69	0,01	0,18	27,79	0,62	0,11	28,86	0,92
3	0,57	25,29	0,72	0,76	24,66	0,14	0,42	25,95	0,76	0,21	27,45	0,94
4	0,46	25,75	0,75	0,56	25,32	0,22	0,5	25,57	0,71	0,25	27,08	0,92
...												
17	0,19	27,67	0,72	0,61	25,14	0,25	0,26	26,99	0,69	0,09	29,29	0,90
18	0,34	26,41	0,57	0,65	25,00	0,19	0,18	27,79	0,54	0,13	28,50	0,79
19	0,14	28,33	0,48	0,59	25,21	0,06	0,14	28,33	0,69	0,12	28,67	0,88
20	0,10	29,07	0,68	0,37	26,22	0,09	0,09	29,29	0,48	0,10	29,07	0,88
	0,19	27,87	0,61	0,56	25,39	0,15	0,17	28,1	0,6	0,11	28,88	0,86

6. Обсуждение результатов исследования методов шумоподавления в растровых образах чертежей деталей

Качественный анализ полученных результатов:

– методы пространственной фильтрации размывают контур монохромного растрового образа чертежа детали и приводят к удалению мелких и тонких примитивов;

– любые модификации частотных методов усиливают шум неоднородных участков растрового образа чертежа детали;

– морфологические методы частично удаляют бинарный шум и сглаживают контур, но вместе с шумом удаляют тонкие и мелкие примитивы, а также вызывают заливку областей чертежа с расстоянием между геометрическими примитивами, сопоставимым с размерами структурного элемента.

Метод ФИЛЬТРАТОР нивелирует не только большую часть монохромного шума, но и большинство артефактов и искажений, присущих полутонковому растровому образу чертежа детали, удаляет практически весь бинарный шум, сглаживая контур образа и сохраняя при этом тонкие и мелкие примитивы.

Количественный анализ полученных результатов: метод ФИЛЬТРАТОР имеет наилучшие показатели СКО, ПОСШ и УИК, что свидетельствует о достаточно высоком качестве фильтрации монохромных и бинарных растровых образов чертежей деталей.

ных растровых образов чертежей деталей.

7. Выводы

В результате исследования разработан оригинальный гибридный метод ФИЛЬТРАТОР, интегрирующий известные и специально разработанные методы шумоподавления в монохромных и бинарных растровых образах чертежей деталей.

Оригинальность предложенного гибридного метода заключается в автоматическом адаптивном устранении паразитных артефактов растровых образов чертежей деталей их поэтапной обработкой:

– на первом этапе нивелируется монохромный шум автоматической настройкой тона на основе анализа гистограмм яркости и контрастности монохромного растрового образа чертежа детали;

– на втором этапе выполняется адаптивное нивелирование бинарного шума с подбором методов фильтрации, размеров и конфигураций структурных элементов фильтров в зависимости от оценок индивидуальных характеристик локальных участков обрабатываемого образа: толщин линий геометрических примитивов контура, пространственного распределения и уровня шума.

Разработанный метод даёт результат превосходит результат стандартных методов, как по объективным, так и по субъективным показателям.

Достоверность и эффективность метода ФИЛЬТРАТОР доказана результатами его тестирования на выборке растровых образах чертежей деталей, искажённых монохромным и бинарным шумом различного типа и интенсивности. Так, например, среднее значение УИК (характеристики, наиболее близко к человеческому зрению отражающей качество изображения) для изображений, обработанных методом ФИЛЬТРАТОР, имеет значение 0.86, в то время как для результатов обработки аналогичных изображений альтернативными методами эта величина имеет значение 0.61, 0.15 и 0.6.

Литература

- Shrestha, S. Image Denoising Using New Adaptive Based Median Filter [Text] / S. Shrestha // Signal & Image Processing: An International Journal. – 2014. – Vol. 5, № 4. – P. 1–13. doi:10.5121/sipij.2014.5401
- Debayle, J. Spatially adaptive morphological image filtering using intrinsic structuring elements [Text] / J. Debayle, J.-C. Pinolli // Image Analysis & Stereology. – 2005. – Vol. 24, № 3. – P. 145–158. doi:10.5566/ias.v24.p145-158
- Lyra, M. Filtering in SPECT Image Reconstruction [Text] / M. Lyra, A. Ploussi // International Journal of Biomedical Imaging. 2011. – Vol. 2011. – P. 1–14. doi:10.1155/2011/693795
- Ali, K. H. Image Subset Selection Using Gabor Filters and Neural Networks [Text] / H. K. Ali, A. Whitehead // The International journal of Multimedia & Its Applications. – 2015. – Vol. 7, № 2. – P. 43–55. doi:10.5121/ijma.2015.7204
- Amza, C. G. Industrial Image Processing Using Fuzzy-logic [Text] / C. G. Amza, D. T. Cicic // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 100. – P. 492–498. doi:10.1016/j.proeng.2015.01.404
- Хрящев, Д. А. Об одном методе анализа цифрового изображения с применением гистограмм [Текст] / Д. А. Хрящев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – № 1. – С. 109–113.

7. Tan, H. L. A Perceptually Relevant MSE-Based Image Quality Metric [Text] / H. L. Tan, Z. Li, Y. H. Tan, S. Rahardja, C. Yeo // IEEE Transactions on Image Processing. – 2013. Vol. 22, № 11. – P. 4447–4459. doi:10.1109/tip.2013.2273671
8. Huynh-Thu, Q. Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment [Text] / Q. Huynh-Thu, M. Ghanbari // Electronics Letters. – 2008. – Vol. 44, № 13. – P. 800–801. doi:10.1049/el:20080522
9. Hum, Y. C. Multiobjectives bihistogram equalization for image contrast enhancement [Text] / Y. C. Hum, K. W. Lai, M. I. Mohamad Salim // Complexity. – 2014. – Vol. 20, № 2. – P. 22–36. doi:10.1002/cplx.21499
10. Абламейко, С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение [Текст] / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. – Минск: Амалфея, 2000. – 304 с.
11. Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа [Текст] / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – Москва: Наука, 1976. – 544 с.
12. Wang, Z. A universal image quality index [Text] / Z. Wang, A. C. Bovik // IEEE Signal Processing Letters. – 2002. – Vol. 9, № 3. – P. 81–84. doi:10.1109/97.995823
13. Красильников, Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений [Текст] / Н. Н. Красильников. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.

Представлена верифікація та аналіз алгоритму попередньої кластеризації, зокрема його основного елементу – правила прийняття рішення. Цей алгоритм, на відміну від інших, не використовує початкову інформацію про кількість кластерів. Верифікація полягала в тестуванні правила прийняття рішення відповідно до кожного окремого випадку вхідних даних. Представлено переваги та недоліки алгоритму попередньої кластеризації

Ключові слова: кластеризація даних, кластер, верифікація, емпіричне правило, прийняття рішення

Представлена верификация и анализ алгоритма предварительной кластеризации, в частности его основного элемента – правила принятия решения. Этот алгоритм, в отличие от других, не использует исходную информацию о количестве кластеров. Верификация состояла в тестировании правила принятия решения в соответствии каждому отдельному случаю входных данных. Представлены преимущества и недостатки алгоритма предварительной кластеризации

Ключевые слова: кластеризация данных, кластер, верификация, эмпирическое правило, принятие решения

UDK 004.9

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47617

ROBUST VERIFICATION AND ANALYSIS OF THE PRE-CLUSTERING ALGORITHM WITH A-PRIORI NON-SPECIFICATION OF THE NUMBER OF CLUSTERS

V. Mosorov

Doctor of Technical Sciences*

E-mail: volodymyr.mosorov@p.lodz.pl

T. Panskyi

PhD student*

E-mail: pansky@gmail.com

S. Biedron

PhD student*

E-mail: SBiedron@wpia.uni.lodz.pl

*Institute of Applied Computer Science

Lodz University of Technology

Stefanowskiego str., 18/22, Lodz, Poland, 90-924

1. Introduction

The range of the implementation of cluster analysis is wide, it extends from many technical applications to different branches of science, such as biology, medicine, computer sciences and psychology. The main purpose of the cluster analysis is dividing the investigated objects into homogeneous groups, or clusters, according to certain criteria and investigating the process of natural grouping of these objects. It means solving the task of grouping data and revealing in them a relevant structure. The task of clustering can be defined as follows: taking into account the informa-

tion about n objects, find K groups based on the measure of similarity, so that the similarity among the object inside one group might be strong, while the similarity among the objects of different groups might be weak.

The presence of noises in the input data makes the reveal of clusters much more difficult. Noise is considered to be the outliers that do not ingress into any cluster and are located at the considerable distance from other objects. In practice, the cluster is a subjective bunch of objects, the analysis of which requires some specific knowledge. Using cluster analysis, the investigator aims to reveal data structure, that is, interconnection of parts of the whole, the inner construc-