

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ:
АНАЛИЗ, ФИЛЬТРАЦИЯ
И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ

ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ СРЕДНЕВЕКОВЫХ РУКОПИСЕЙ

1. ВВЕДЕНИЕ

Данная статья посвящена разработке и применению цифровых методов обработки изображений в исторических исследованиях, в частности, в задачах обработки и анализа водяных знаков средневековых рукописей [1,2]. Водяной знак некоторой страницы средневековой рукописи является, по существу, бесцветным оттиском специальной фигурки (товарного знака производителя бумаги), закрепленной на сите, которое использовалось при производстве бумаги. Очевидно, что срок службы такого сита ограничен, поэтому временная идентификация водяного знака (определение его возраста) широко используется в исторических исследованиях для временной идентификации самих средневековых рукописей. Сравнение идентифицированных водяных знаков с неидентифицированными является в настоящее время одним из основных методов временной идентификации средневековых рукописей и инкунабул. Для этих целей используются несколько стандартных каталогов (Пиккарда, Можин-Тральлика, Брике, Зонги), содержащих тысячи эскизных копий водяных знаков, собранных и систематизированных в течение многих десятилетий [1,2]. Получение таких копий и их сравнение с каталогами осуществляется вручную, что очевидно требует огромных временных затрат. Таким образом применение цифровых методов для решения этих задач представляется целесообразным.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

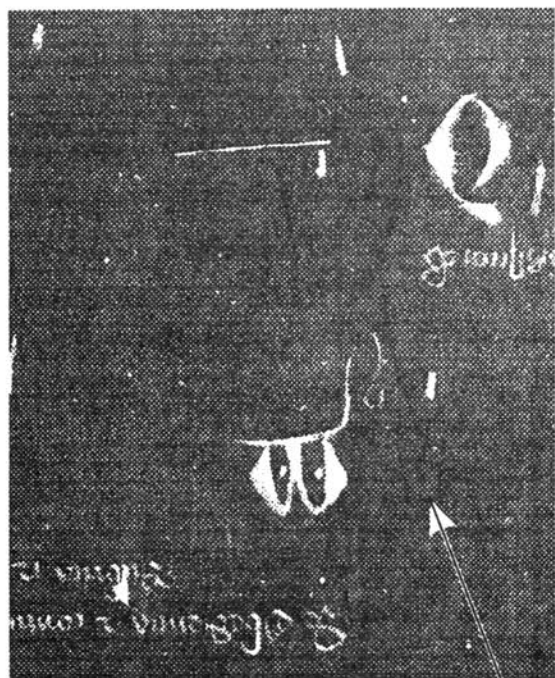
Исследуемая страница средневековой рукописи содержит информацию о водяном знаке в виде изменений локальной плотности бумаги, поэтому для ввода изображения водяного знака в ЭВМ необходимо применять системы получения изображений, работающие "на просвет". Из существующих систем, работающих на этом принципе, историками была выбрана рентгенографическая система из-за ее относительной простоты и низкой стоимости получения изображения. Поэтому в нашей работе исходными изображениями являлись рентгенографические изображения страниц средневековых рукописей, взятых из библиотеки монастыря Клостернойебург (Австрия) [2,3]. Каждый

водяной знак регистрировался на отдельном рентгенографическом изображении размером около 18×23 см². Основные свойства полученных таким образом изображений могут быть обобщены в следующем виде:

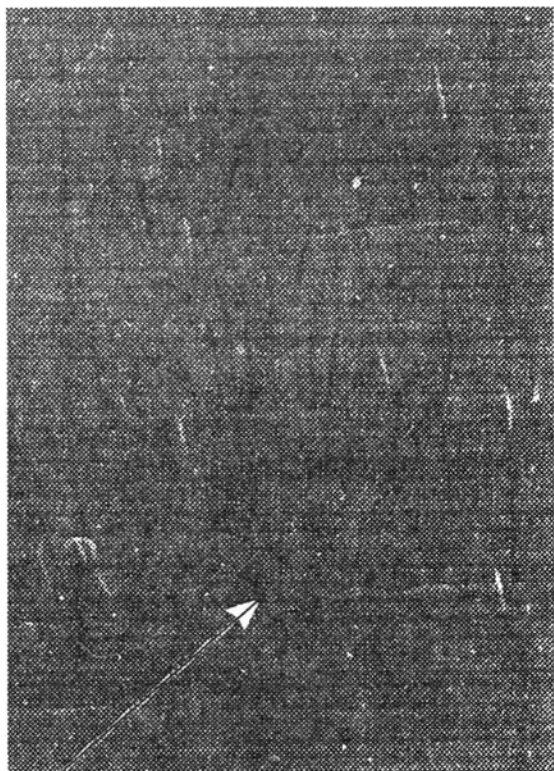
1. Максимальная оптическая плотность изображений изменяется в диапазоне от 1.5D до 2.5D.
2. Изображения водяных знаков регистрируются как небольшие вариации оптической плотности относительно окружающего фонового изображения, причем, локальный контраст изображений водяных знаков очень мал.
3. Практически все исходные изображения характеризуются низким визуальным качеством из-за наличия различных искажений. Основными видами искажений являются:
 - импульсный шум;
 - большие непрозрачные (черные) и/или прозрачные (белые) пятна произвольной формы; некоторые из этих пятен обусловлены наличием дыр, которые проделаны в бумаге различными насекомыми;
 - пространственно-медленные вариации оптической плотности изображения, обусловленные вариациями толщины бумаги и/или пространственной неоднородностью рентгеновского излучения;
 - пространственно-быстрые вариации оптической плотности изображения, обусловленные неоднородностями плотности и внутренней структуры бумаги;
 - рентгенографическое изображение текста рукописи обрабатываемой страницы в особенности если для его написания использованы чернила, сильно поглощающие рентгенографическое излучение.
4. Изображение сита, используемого при производстве бумаги, представлено на изображении в виде зашумленных квазипериодических полос.

На Рис.1а, 1б, 1в и 1г представлены четыре образца рентгенографических изображений фрагментов четырех различных страниц средневековых рукописей, которые были использованы качестве исходных изображений в данной работе. Размер изображений, показанных на Рис.1а, 1б, 1в и 1г, составляет 790×980 , 712×712 , 724×1024 и 712×712 отсчетов, соответственно. Шаг дискретизации при вводе изображений составлял 100×100 μm^2 , а разрешение - 8 бит/элемент. Масштаб изображений при печати немного изменен для того чтобы все изображения разместились на одной странице. Каждый из представленных фрагментов содержит изображения одного из четырех различных водяных знаков и имеют основные виды искажений, перечисленных выше.

В силу низкого отношения сигнал/шум и малого контраста изображений водяных знаков, процессу выделения водяных знаков должна предшествовать некоторая процедура предварительной обработки исходных изображений, целью которой является подавление шумов и усиление контраста изображений водяных знаков [3]. Такая обработка требуется

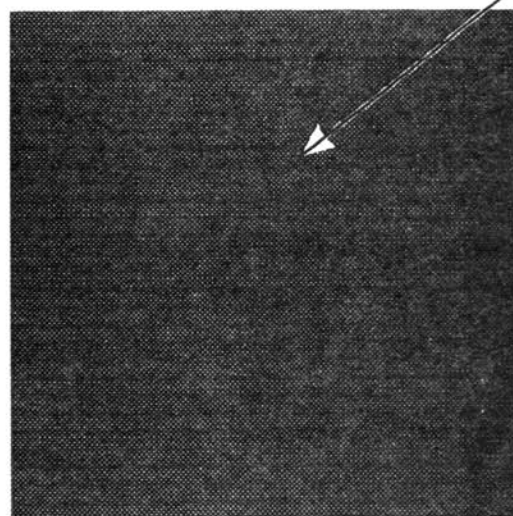


а

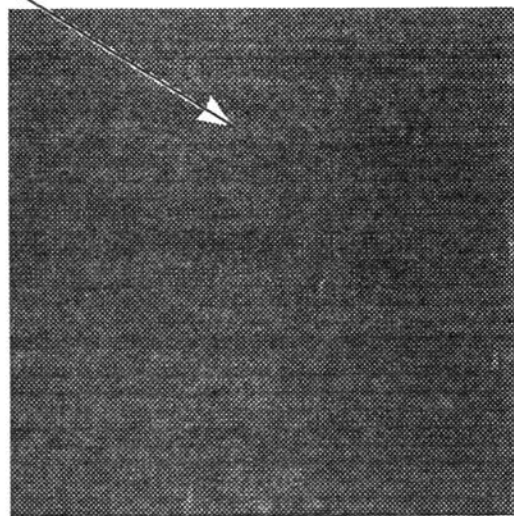


б

1



в



г

Рис. 1. Исходные рентгенографические изображения фрагментов четырех страниц средне-вековых рукописей, содержащие изображения четырех различных водяных знаков. Цифрой 1 указаны изображения водяных знаков.

практически для всех исходных изображений и поэтому представляется крайне желательным разработать некоторые адаптивные методы и создать программные средства, в результате применения которых обработанные изображения обладали бы некоторыми близкими визуальными характеристиками, такими как контраст и среднее значение. В работе были рассмотрены цифровые методы обработки изображений, основанные на локальных критериях [4], применение которых позволяет получить формальные количественные меры, необходимые для создания полностью автоматической процедуры предварительной обработки исходных изображений.

С целью упрощения представления разработанных процедур введем ряд обозначений и некоторые базовые операции. Мы будем придерживаться терминологии, принятой для локально-адаптивных методов обработки изображений и, в частности, для ранговых методов [4,5]. Пусть

$\mathbf{b} = \{b_{k,l}\}$	матрица отсчетов исходного изображения;
	k, l - координаты отсчетов: $k = 1, 2, \dots, K$; $l = 1, 2, \dots, L$;
$\hat{\mathbf{b}} = \{\hat{b}_{k,l}\}$	матрица отсчетов обработанного изображения;
$NBH = NBH(b_{k,l})$	некоторая окрестность отсчета $b_{k,l}$;
$S_{k,l} = S_{NBH}(b_{k,l})$	пространственная окрестность (S-окрестность) отсчета $b_{k,l}$;
$SIZE(NBH)$	число отсчетов в окрестности NBH ;
$(r) = V_{NBH}(r)$	вариационный ряд по окрестности NBH : $\{V(r) = b_{m,n} < V(r+1) = b_{p,q}; \{(m,n), (p,q)\} \subset NBH;\}$ $r = 1, 2, \dots, SIZE(NBH) - 1$;
$MEAN(NBH)$	среднее значение по окрестности NBH ;
$STDV(NBH)$	стандартное отклонение по окрестности NBH ;
$MIN(NBH)$	минимальное значение по окрестности NBH : $MIN(NBH) = V(1)$;
$MAX(NBH)$	максимальное значение по окрестности NBH : $MAX(NBH) = V(SIZE(NBH))$.

3. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

3.1. Геометрические преобразования

Ввод изображений с точно заданными ориентацией, размером и местоположением фрагмента страницы средневековой рукописи, содержащего изображение всего водяного знака, крайне затруднено из-за высокой оптической плотности и низкого контраста исходных изображений. Для преодоления этой проблемы первоначально в ЭВМ вводится несколько больший фрагмент исходного изображения с приблизительным выбором ориентации, размера и местоположения фрагмента страницы средневековой рукописи,

содержащего изображение всего водяного знака, а затем с помощью программных средств осуществляется коррекция этих параметров. Геометрические преобразования изображений направлены на стандартизацию размеров и масштаба изображений, на унификацию ориентации и местоположения изображений водяных знаков относительно обрабатываемых фрагментов исходных изображений. Коррекция ориентации, размера и масштаба осуществляется с помощью известного преобразования координат:

$$\begin{pmatrix} k \\ l \end{pmatrix} = \left[c \cdot \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k' - k'_0 \\ l' - l'_0 \end{pmatrix} \right], \quad (1)$$

где k', l' - целочисленные координаты исходного изображения, k, l - целочисленные координаты обработанного изображения, k'_0, l'_0 - целочисленные координаты сдвига, ϕ - угол поворота, c - масштабный коэффициент, $[v]$ обозначает вектор, компоненты которого являются целыми частями компонент вектора v и $v \in \mathfrak{R}$.

3.2. Подавление импульсного шума

Импульсный шум проявляется на изображении в виде высококонтрастных черных и/или белых пятен, которые обычно называют шумовыми выбросами. Для описания импульсного шума в работе использована модель, которая предполагает, что значения отсчетов неискаженного изображения заменяются с некоторой вероятностью случайными значениями, т.е.:

$$b_{k,l} = (1 - s_{k,l}) \cdot a_{k,l} + s_{k,l} \cdot n_{k,l}, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (2)$$

где $b_{k,l}$ - отсчеты искаженного изображения, $a_{k,l}$ - отсчеты неискаженного (идеального) изображения, $n_{k,l}$ - отсчеты шумовых выбросов и $s_{k,l}$ - отсчеты бинарной переключающей матрицы. Предполагается, что $s_{k,l} = 1$, если соответствующий отсчет $b_{k,l}$ искажен импульсным шумом и $s_{k,l} = 0$ в противном случае. Мы будем различать два типа шумовых выбросов: *отрицательные* и *положительные* шумовые выбросы. Шумовой выброс будем называть *отрицательным*, если его значение меньше, чем значения окружающих неискаженных отсчетов и - *положительным*, если его значение больше, чем значения окружающих неискаженных отсчетов.

В общем случае процедура подавления импульсного шума имеет два основных этапа: на первом этапе осуществляется обнаружение искаженных отсчетов, а на втором - оценка скорректированного значения с использованием значений неискаженных отсчетов и замена искаженного значения отсчета его оценкой [6,7]. Очевидно, что более сложным этапом является обнаружение шумовых выбросов, т.е. оценка переключающей матрицы $\{s_{k,l}, k = 1, 2, \dots, K; l = 1, 2, \dots, L\}$. Простейшим алгоритмом обнаружения импульсного шума является пороговый алгоритм со следующей переключающей матрицей:

$$s_{k,l}^i = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{k,l} < T_d \text{ или } b_{k,l} > T_u, \\ 0, & \text{если } T_d \leq b_{k,l} \leq T_u, \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (3)$$

где T_d и T_u - глобальные пороги обнаружения для отрицательных и положительных шумовых выбросов соответственно. Предварительный анализ изображений водяных знаков показал, что в нашем случае использование этой простейшей глобальной пороговой процедуры является недостаточным, но сочетание ее с некоторыми локально-адаптивными ранговыми алгоритмами [4,5] дает хорошие результаты.

Для того чтобы формализовать процедуру вычисления адекватных значений глобальных порогов T_d и T_u предположим, что вероятности отрицательных и положительных шумовых выбросов p_d и p_u известны. Тогда количество искаженных отсчетов обрабатываемого изображения будет равно $N_d = [p_d \times K \times L]$ для отрицательных и $N_u = [p_u \times K \times L]$ для положительных шумовых выбросов соответственно, где $K \times L$ - количество отсчетов обрабатываемого изображения, а $x]$, $x \in \mathbb{R}$ обозначает целую часть x . Оценка порогов T_d и T_u осуществляется с использованием глобальной кумулятивной гистограммы:

$$\hat{h}_b(q) = \sum_{j=0}^q h_b(j), \quad q = 0, 1, \dots, Q-1; \quad (4)$$

где $h_b(j)$ - обозначает количество отсчетов изображения \mathbf{b} , имеющих значение j , а Q - количество уровней квантования. При этих предположениях, пороговые значения T_d и T_u могут быть вычислены следующим образом:

$$T_d = \begin{cases} 0, & \text{если } N_d \leq \hat{h}_b(0), \\ q, & \text{если } \hat{h}_b(q-1) < N_d \leq \hat{h}_b(q), \end{cases} \quad q = 1, 2, \dots, Q-1; \quad (5)$$

$$T_u = \begin{cases} Q-1, & \text{если } N_u \leq \hat{h}_b(Q-1) - \hat{h}_b(Q-2), \\ q, & \text{если } \hat{h}_b(Q-1) - \hat{h}_b(q+1) < N_u \leq \hat{h}_b(Q-1) - \hat{h}_b(q). \end{cases} \quad q = 0, 1, \dots, Q-2; \quad (6)$$

Легко видеть, что для незашумленного изображения (вероятности $p_d = p_u = 0$) пороговые значения T_d и T_u равны глобальному минимальному и, соответственно, максимальному значениям обрабатываемого изображения.

Существует много различных модификаций этой общей схема подавления импульсного шума [4-6]. Среди них хорошую эффективность демонстрируют ранговые алгоритмы [4,5]. Они базируются на анализе некоторой пространственной окрестности обрабатываемого отсчета изображения. Полная локальная адаптивность, робастность и возможность рекурсивной организации обработки являются основными достоинствами ранговых алгоритмов. Один из возможных вариантов рангового алгоритма обнаружения импульсного шума строит в пределах S -окрестности обрабатываемого отсчета

изображения некоторую субокрестность, называемую EV -окрестность. Эта окрестность содержит все отсчеты S -окрестности, значения которых отклоняются от значения обрабатываемого отсчета не более, чем на некоторую предварительно определенную неотрицательную величину ε_v :

$$EV_S(b_{k,l}) = \{V(r) : b_{k,l} - \varepsilon_v \leq V(r) \leq b_{k,l} + \varepsilon_v\}, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (7)$$

где $V(r)$ - вариационный ряд, сформированный из отсчетов S -окрестности обрабатываемого отсчета $b_{k,l}$.

По определению шумовые отсчеты принимают экстремальные значения по сравнению с окружающими их неискаженными отсчетами обрабатываемого изображения. Это означает, что при достаточно большом размере S -окрестности размер EV -окрестность неискаженных отсчетов в общем случае больше размера EV -окрестности искаженных отсчетов. Следовательно, переключающая матрица $s_{k,l}^r$ этого рангового алгоритма равна:

$$s_{k,l}^r = \begin{cases} 1, & \text{если } SIZE(EV_S(b_{k,l})) < T_{EV}, \\ 0, & \text{если } SIZE(EV_S(b_{k,l})) \geq T_{EV}, \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, K; l = 1, 2, \dots, L; \quad (8)$$

где T_{EV} - порог обнаружения. Разработанный в данной работе комбинированный пороговый/ранговый алгоритм обнаружения импульсного шума имеет переключающую матрицу следующего вида:

$$s_{k,l} = s_{k,l}^r \parallel s_{k,l}^t, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (9)$$

где \parallel обозначает логический оператор OR. Основными шагами данного алгоритма являются:

1. Вычисление глобальных порогов T_d и T_u для заданных значений вероятностей p_d и p_u .
2. Вычисление значения переключающей матрицы $s_{k,l}^t$ (см. выражение (3)).
3. Если значение $s_{k,l}^t$ равно 1, то следует пропустить шаги 4-7.
4. Формирование вариационного ряда $V(r)$ для обрабатываемого отсчета $b_{k,l}$.
5. Вычисление размера EV -окрестности: $SIZE(EV_S(b_{k,l}))$.
6. Вычисление значения переключающей матрицы $s_{k,l}^r$ (см. выражение (8)).
7. Если значение $s_{k,l}^r$ не равно 1, то следует пропустить шаги 8-9.
8. Вычисление оценки скорректированного значения искаженного отсчета.
9. Замена значения искаженного отсчета на его оценку.
10. Повторить шаги 2-10 для всех отсчетов обрабатываемого изображения.

Корректированное значение обнаруженного шумового отсчета оценивается как среднее значение, вычисляемое по небольшой S -окрестности обрабатываемого отсчета (обычно размером 3×3 отсчета), причем, для оценки используются только обработанные отсчеты. Вычисление размера EV -окрестности, т.е. $SIZE(EV_S(b_{k,l}))$, осуществляется рекурсивно, а все требуемые параметры: вероятности p_d и p_u , размер S -окрестности на этапе

обнаружения импульсного шума, ε_v и T_{EV} были оценены предварительно и апробированы на ряде типичных изображений водяных знаков и в дальнейшем были использованы при обработке всех исходных изображений. Значения этих параметров следующие:

- вероятности отрицательных и положительных шумовых выбросов $p_d = p_u = 0.001$;
- размер S -окрестности на этапе обнаружения импульсного шума равен 11×11 отсчетов;
- параметр $\varepsilon_v = (T_u - T_d) / 10$;
- порог обнаружения $T_{EV} = 10$.

3.3. Повышение локального контраста

Для повышения локального контраста изображений водяных знаков был использован метод нерезкого маскирования [6], в соответствии с которым значение обработанного отсчета определяется следующим выражением:

$$\hat{b}_{k,l} = \alpha \cdot MEAN(S_{k,l}) + \gamma \cdot (b_{k,l} - MEAN(S_{k,l})) + \beta, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (10)$$

где α , β и γ - некоторые константы.

Как уже отмечалось характеристики исходных изображений, в частности, динамический диапазон значений отсчетов изображений существенно отличаются друг от друга. Поскольку данную обработку предполагается осуществлять в полностью автоматическом режиме, то необходимо разработать процедуру адаптации параметров обработки к характеристикам обрабатываемого изображения с тем, чтобы обработанные изображения имели сходные визуальные характеристики. Наиболее критичным параметром данного алгоритма является коэффициент усиления контраста, определяемый константой γ . Для ее вычисления разработана следующая процедура:

- расчет некоторой матрицы \mathbf{d} , необходимой для промежуточных вычислений:

$$d_{k,l} = b_{k,l} - MEAN(S_{k,l}), \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (11)$$

где $d_{k,l} \in \mathfrak{R}$;

- вычисление глобальных значений $MIN(\mathbf{d})$, $MAX(\mathbf{d})$, $MEAN(\mathbf{d})$ и $STDV(\mathbf{d})$, т.е. глобальных минимального, максимального, среднего значений и глобального стандартного отклонение для матрицы \mathbf{d} .
- вычисление константы γ по следующей формуле:

$$\gamma = \frac{Q - 1}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (12)$$

где $T_{\max} = \min(MEAN(\mathbf{d}) + 3 \cdot STDV(\mathbf{d}), MAX(\mathbf{d}))$,

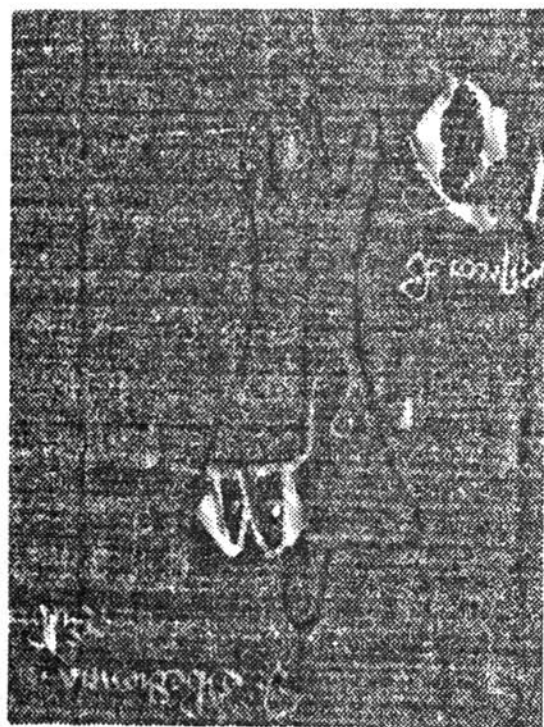
$$T_{\min} = \max(MEAN(\mathbf{d}) - 3 \cdot STDV(\mathbf{d}), MIN(\mathbf{d})),$$

Q - количество уровней квантования.

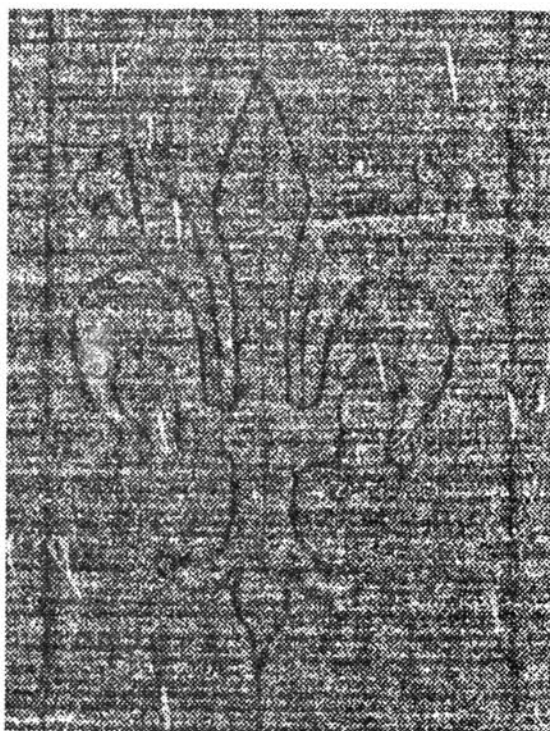
Константа α выбирается равной нулю, константа β выбирается одной и той же для всех обрабатываемых изображений. Ее значение должно обеспечивать требуемое среднее значение фонового изображения при изготовлении копий обработанных изображений, например, с помощью лазерного принтера. Такой выбор параметров обеспечивает не только повышение локального контраста и уменьшение пространственно-медленных вариаций фонового изображения, но и позволяет получать обработанные изображения с нормализованными глобальными статистическими характеристиками такими как минимальное, максимальное и среднее значения. На Рис.2а, 2б, 2в и 2г оказаны черыре фрагмента рентгенографических изображений средневековых рукописей после геометрических преобразований и предварительной обработки. Предварительная обработка, которая включала в себя процедуры подавления шума, повышения локального контраста и нормализации характеристик обработанных изображений, осуществлялась в полностью автоматическом режиме с помощью описанных в данном разделе алгоритмов. Размеры изображений, показанных на Рис.2а и 2б, составляют 680×900 элементов, а Рис.2в и 2г - 500×600 элементов. Масштаб изображений увеличен приблизительно на 15% по сравнению с исходными изображениями, показанными на Рис.1.

4. ВЫДЕЛЕНИЕ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

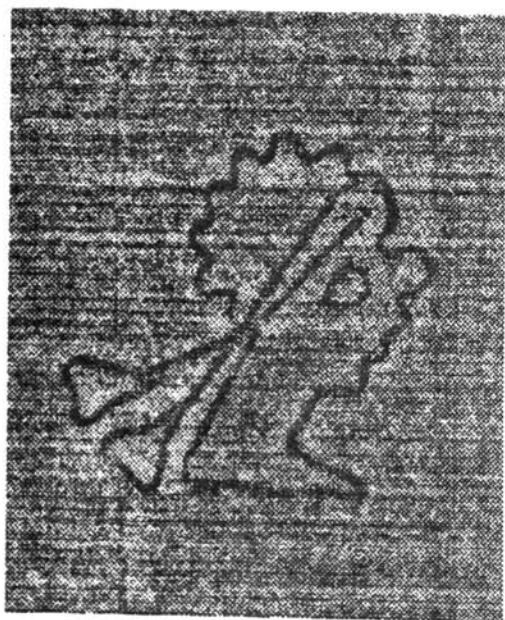
Водяные знаки представлены на обработанных изображениях в виде сглаженных полутоновых полос на фоне полутонowego рентгенографического изображения страницы исследуемой рукописи. Ширина этих полос варьируется относительно некоторого среднего значения, характерного для выбранного шага дискретизации, используемого при вводе изображения в ЭВМ. Форма, размеры, количество вершин, единичных и множественных точек пересечения существенно изменяются для различных водяных знаков. Предварительный анализ изображений водяных знаков показал, что они могут представлять собой единичные замкнутые или незамкнутые графические фигуры, имеющие или неимеющие точки самопересечения, а также являться некоторой комбинацией единичных фигур. В силу большой зашумленности изображений и наличия механических повреждений некоторые участки изображений водяных знаков полностью маскируются на сбойных участках, что приводит к фрагментации изображений водяных знаков. Кроме того, в дополнение к водяным знакам обработанные изображения содержат другие объекты, которые подобны изображениям водяных знаков и могут быть формально описаны в тех же терминах, что и сами водяные знаки. Большое число этих



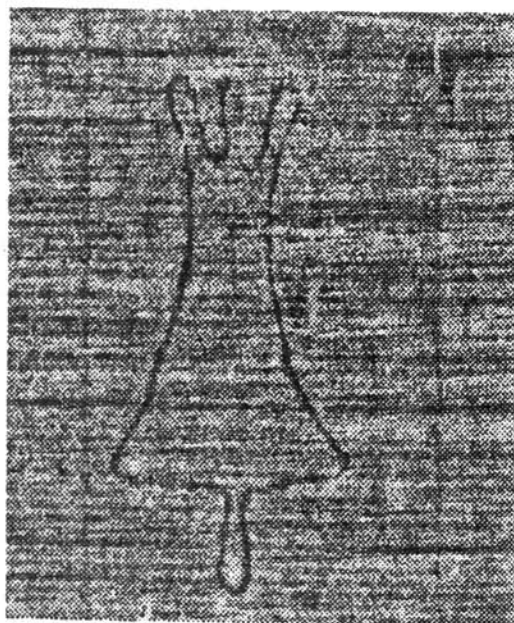
а



б



в



г

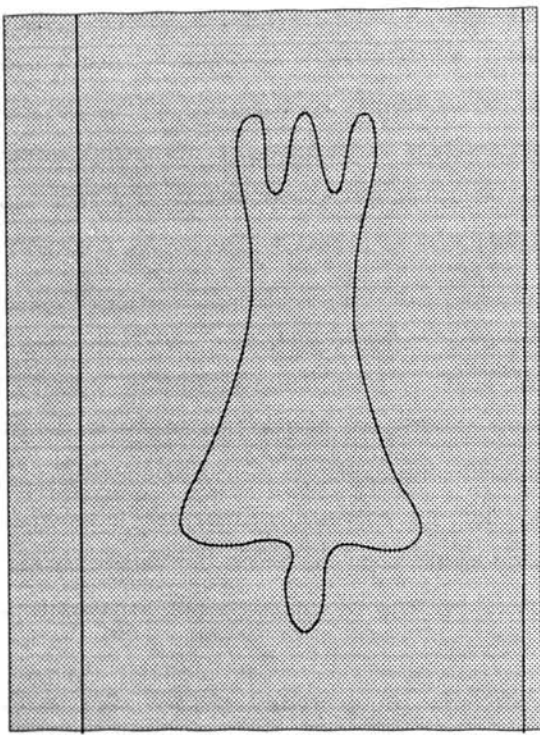
Рис. 2. Рентгенографические изображения фрагментов четырех страниц средневековых рукописей после геометрических преобразований и предварительной обработки, выполненной в полностью автоматическом режиме. Масштаб изображений увеличен приблизительно на 15% относительно исходных изображений, показанных на Рис.1.

объектов на большинстве исследуемых изображений, а также шумовая фрагментация изображений водяных знаков существенно затрудняют создание полностью автоматических методов выделения водяных знаков и поэтому в работе была разработана интерактивная процедура. С ее помощью пользователь осуществляет скелетонизацию сохранившихся фрагментов водяных знаков, реставрацию утерянных (полностью маскированных) фрагментов и последующее графическое редактирование выделенного водяного знака.

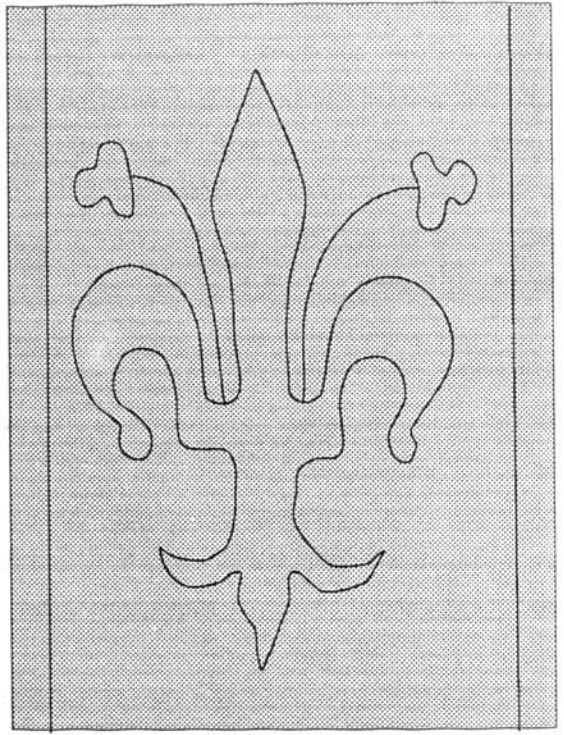
Градиентный метод [6-7] был адаптирован для осуществления скелетонизации водяных знаков. Разработанный алгоритм базируется на естественном предположении, что среднее значение локального градиента внутри некоторого фрагмента водяного знака меньше в направлении центральной линии (скелетона) фрагмента по сравнению со значением в ортогональном направлении. В силу дискретной структуры цифровых изображений градиенты были аппроксимированы разностями. Разработанная интерактивная процедура выделения водяного знака требует от пользователя выполнения следующих действий:

- выбор с помощью курсора некоторого отсчета изображения внутри типичного фрагмента водяного знака; пространственная окрестность этого отсчета используется для оценки параметров, необходимых для дальнейшей скелетонизации (ширина полосы фрагмента и пороговые значения для скелетонизации);
- выбор с помощью курсора начальной точки скелетона водяного знака; для незамкнутых фигур это должна быть одна из конечных точек фигуры, а для незамкнутых - любая точка скелетона;
- реставрация скелетона утерянных фрагментов водяного знака, осуществляемая путем последовательного выбора с помощью курсора точек скелетона;
- интерактивное графическое редактирование выделенного и реставрированного скелетона водяного знака.

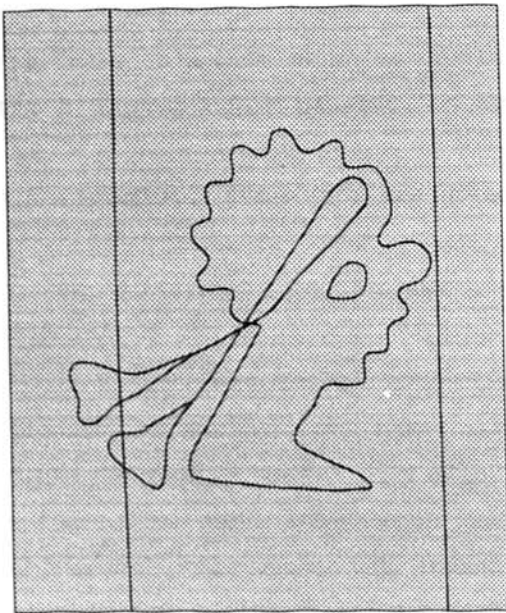
На Рис.3а, 3б, 3в и 3г представлены результаты выделения изображений водяных знаков из обработанных изображений четырех фрагментов рентгенографических изображений средневековых рукописей, показанных на Рис.2а, 2б, 2в и 2г. Каждое из представленных бинарных изображений содержит пару вертикальных полос, расположенных с левой и правой сторон выделенных изображений водяных знаков. Эти полосы были выделены из обработанных изображений вместе с изображениями водяных знаков и представляют собой изображения фиксаторов сита, которое было использовано для производства бумаги. Наряду с водяными знаками изображения этих фиксаторов используются для временной идентификации средневековых рукописей. Обработанные изображения с наложенными бинарными изображениями выделенных водяных знаков показаны на Рис.4а, 4б, 4в и 4г.



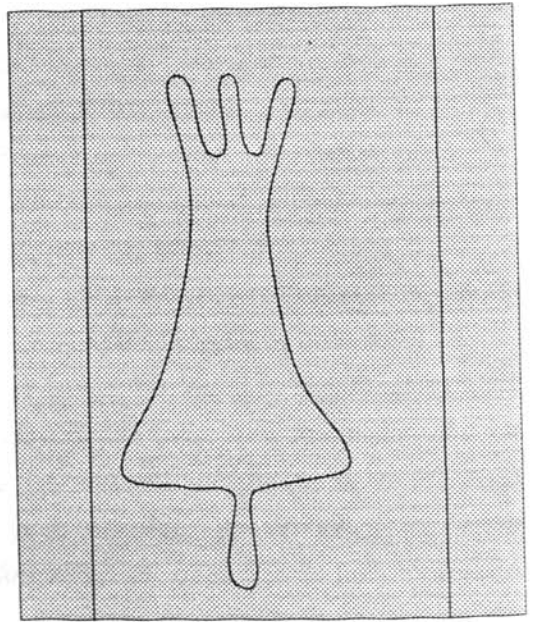
а



б

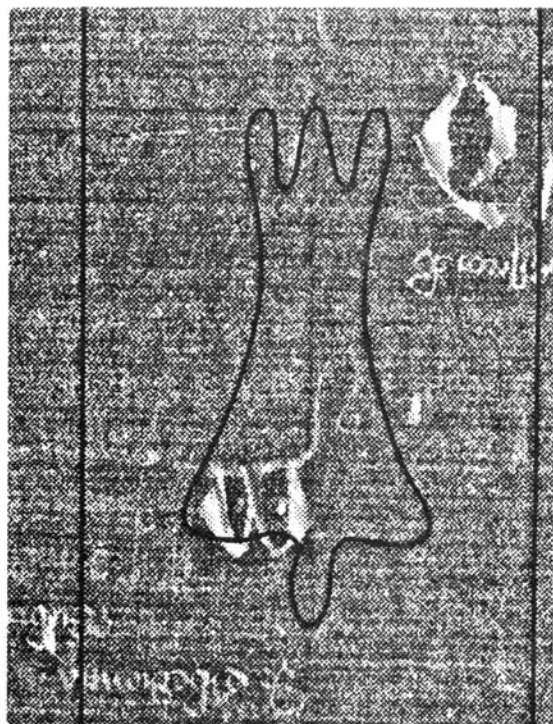


в

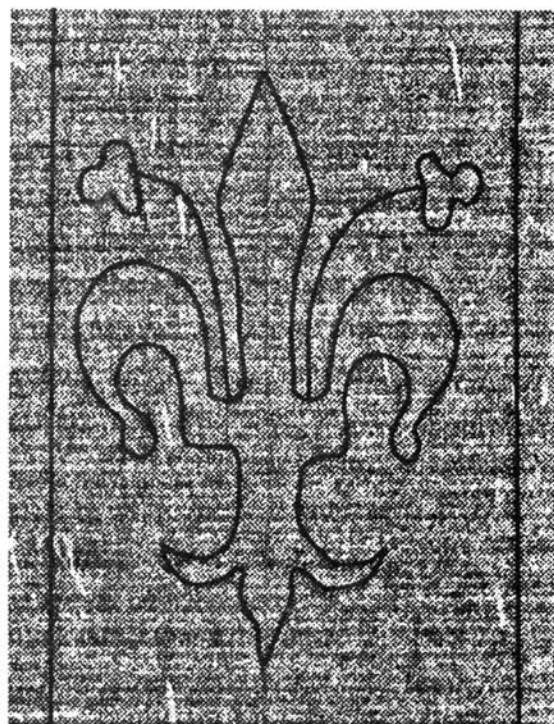


г

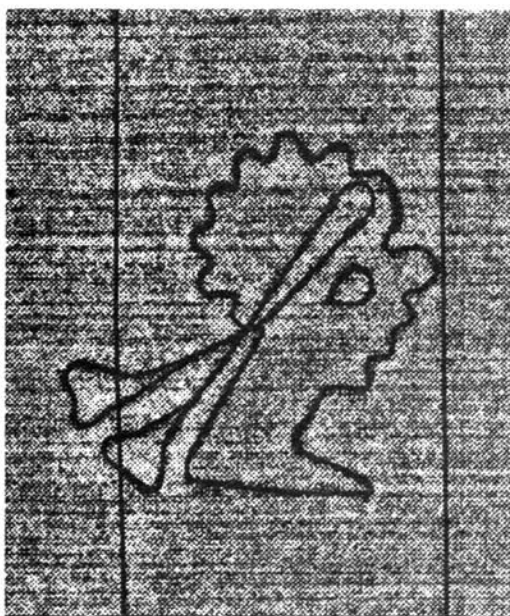
Рис. 3. Бинарные изображения водяных знаков, выделенных из обработанных рентгенографических изображений фрагментов четырех страниц средневековых рукописей. Масштаб изображений увеличен приблизительно на 15% относительно исходных изображений, показанных на Рис.1.



а



б



в



г

Рис. 4. Рентгенографические изображения фрагментов четырех страниц средневековых рукописей после предварительной обработки с нанесенными изображениями выделенных водяных знаков, показанных на Рис.3. Масштаб изображений увеличен приблизительно на 15% относительно исходных изображений, показанных на Рис.1.

5. ВЫВОДЫ

Таким образом разработаны методы и алгоритмы цифровой обработки изображений водяных знаков, использующие априорную информацию для реализации процессов подавления импульсного шума и повышения локального контраста в полностью автоматическом режиме. Созданы программные средства, реализующие разработанные алгоритмы. Разработан также метод и создано математическое обеспечение для выделения водяных знаков из рентгенографических изображений страниц средневековых рукописей. Эффективность всех предложенных алгоритмов подтверждена экспериментально при обработке реальных рентгенографических изображения страниц средневековых рукописей.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований: грант 93-012-7 и Министерством науки, высшей школы и технической политики Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kresten O.* Rezension zu den Banden 12-15 des Wasserzeichen--Repertoriums von G.Piccard, //Mitteilungen des Instituts fur Osterreichische Geschichtsforschung, Vol.96, pp.439-443, 1988.
2. *Haidinger A.* Zur Registrierung der Wasserzeichen in Klosterneuburger Handschriften // Gazette du livre medieval, Vol.5, pp.10-11, 1985.
3. *Karnauchov V.N., Wenger E, Haidinger A., Lackner F.* Computer aided processing of watermarks // DIP-92 Proceedings, pp.153-158, Riga 1992.
4. *Кум В, Ярославский Л.П.* Ранговые алгоритмы для обработки изображений // Адаптивные методы обработки изображений / Москва, Наука, 1989.
5. *Yaroslavsky L.P.* Linear and rank adaptive filters for picture processing // Digital Image Processing and Computer Graphics, Ed. by E.Wenger and L.Dimitrov / R.Oldenbourg, pp.327-372, Wien, 1991.
6. *Pratt W.K.* Digital Image Processing // John Wiley and Sons, New York, 2nd edition, 1991.
7. *Gonsalvez R.C. and Wintz P.* Digital Image Processing // Addison Wesley, 1987.



Предлагаем заинтересованным организациям
разместить рекламу в изданиях
Международного центра научной и технической информации
Справки по телефону: (095) 198-72-10

Digital analysis of medieval manuscripts and watermarks

V.N. Karnaukhov, N.S. Merzlyakov, E. Wenger, A. Haidinger, F. Lackner

Abstract

This article is devoted to the development and application of digital image processing methods in historical research, in particular, in processing and analysis of watermarks of medieval manuscripts [1,2]. A watermark of a page of a medieval manuscript is essentially a colorless impress of a special figure (trademark of the paper manufacturer) mounted on a sieve used for paper manufacturing. Obviously, the life of such a sieve is limited, so the time identification of watermarks (determination of their age) is widely used in historical studies to identify the age of the medieval manuscripts. Currently, the comparison of the identified watermarks with unidentified ones is one of the main methods of dating the medieval manuscripts and incunabula. For this purpose, several standard catalogs are used (Piccard, Mozhin-Tralik, Briquet, Zonghi) containing thousands of sketch copies of watermarks collected and systematized over many decades [1,2]. Obtaining such copies and comparing them with catalogs is performed manually, which obviously requires a huge amount of time. Thus, the application of digital methods to these tasks seems appropriate.

Citation: Karnaukhov VN, Merzlyakov NS, Wenger E, Haidinger A, Lackner F. Digital analysis of medieval manuscripts and watermarks. *Computer Optics* 1995; 14-15(1): 11-24.

References

- [1] Kresten O. Rezension zu den Banden 12-15 des Wasserzeichen-Repertoriums von G.Piccard. *Mitteilungen des Institute fur Osterreichische Geschichtsforschung*; 1988; 96: 439-443.
- [2] Haidinger A. Zur Registrierung der Wasserzeichen in Klosterneuburger Handschriften. *Gazette du livre medieval*; 1985; 5: 10-11.
- [3] Karnaukhov VN, Wenger E, Haidinger A, Lackner F. Computer aided processing of watermarks. *DIP-92 Proceedings*. Riga: 1992; 153-158.
- [4] Kim V, Yaroslavsky LP. Rank algorithms for image processing. *Adaptive image processing methods*. Moscow: Nauka Publisher; 1989.
- [5] Yaroslavsky LP. Linear and rank adaptive filters for picture processing. *Digital Image Processing and Computer Graphics*, Ed. by Wenger E and Dimitrov L, Oldenbourg R; Wien: 1991; 327-372.
- [6] Pratt WK. *Digital Image Processing*. John Wiley and Sons; New York: 1991, 2.
- [7] Gonsalvez RC, Wintz P. *Digital Image Processing*. Addison Wesley; 1987.