

УДК 655.2:004.65

**ЦИФРОВЫЕ ВЫСОКОКОНТРАСТНЫЕ ОРИГИНАЛЫ  
И АРХИВНОЕ ХРАНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

© И. Л. Артюшина, доцент, Р. Ж. Ахтариев, аспирант,  
А. И. Винокур, профессор, МГУП, Москва,  
Российская Федерация

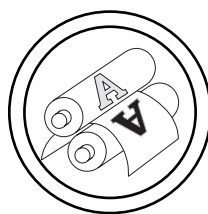
**Розглядаються особливості створення бази даних, предметною областю якої є зображення висококонтрастних об'єктів. Відповідно до систем з обмеженим динамічним діапазоном в модулі введення запропоновано алгоритм формування висококонтрастного цифрового оригіналу, що містить повну інформацію про світлоту об'єкту зйомки. У модулі виводу запропоновано алгоритм узгодження динамічних діапазонів висококонтрастного оригінала і системи відтворення, заснований на просторовій селективній градаційній корекції.**

**The article deals with the features of creation of the database the subject domain of which are the images of high-contrast objects. According to the limited dynamic range systems the algorithm of formation of high-contrast digital original containing complete information about the lightness of the shooting object is proposed in the module. There is proposed the algorithm of coordination of dynamic ranges of high-contrast original and reproduction system based on the spatial selective graded correction in the conclusion module.**

При регистрации объектов реального мира динамический диапазон оригинала может превышать динамический диапазон системы репродуцирования. Такие оригиналы принято считать высококонтрастными [1].

Актуальным является архивное хранение изображений высококонтрастных объектов. Для достижения этой задачи могут быть использованы существующие СУБД, где, например, предметной областью могут являться изображения историко-культурных объектов. В этой ситуации оптимальным является достижение физиологической точности цифровой мастер-копии,

позволяющей сохранить все детали оригинала. Получение изображений высококонтрастных объектов связано с условиями освещения, при которых динамический диапазон светлот оригинала может превышать динамический диапазон системы репродуцирования. При регистрации высококонтрастных объектов достижение физиологической точности [2] часто невозможно, из-за ограниченного динамического диапазона большинства технических средств. Часть важной информации теряется из-за нелинейности преобразований, поэтому сохранение линейности является обязательным условием.



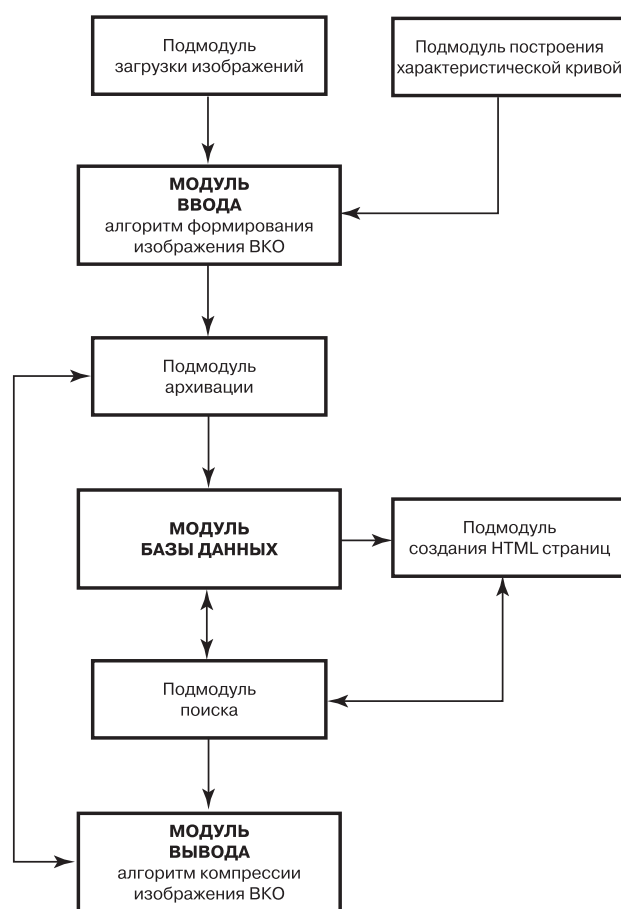
## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

При регистрации высококонтрастных оригиналов требуется применение технологий учитывающих особые свойства этих объектов.

Целью статьи является задача описания общей схемы функционирования базы данных изображений высококонтрастных объектов, детальное описание модулей ввода и вывода изображительной информации, с учетом особенностей методов регистрации и воспроизведения высококонтрастных ориги-

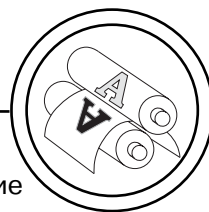
налов в системах с ограниченным динамическим диапазоном [3, 4].

Предлагаемый комплексный подход к созданию базы данных основывается на описании функциональной структуры информационной системы, которая предполагает наличие трех основных модулей и нескольких подмодулей, осуществляющих выполнение локальных задач. Блок-схема функциональной структуры информационной системы изображена на рисунке.



Блок-схема функциональной структуры информационной системы

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



Функционирование системы состоит из ряда последовательных действий:

1. Построение характеристической кривой цифровой фотокамеры (выполняется один раз). Вычисление динамического диапазона цифровой фотокамеры;

2. Определение динамического диапазона объекта репродуцирования, вычисление на основании этих данных количества необходимых изображений. Измерения проводятся с помощью специальных устройств. Рекомендуется использовать точечный экспонометр (спот-метр). При не возможности проведения измерений рекомендуется производить съемку с большим количеством экспозиций, но при этом возрастает нагрузка на аппаратную часть компьютерного комплекса;

3. Съемка объекта в соответствии с методическими рекомендациями с требуемых ракурсов (обязательным является пространственное фиксирование камеры — использование штатива, в целях исключения последующего не совмещения изображений);

4. Загрузка полученных изображений в систему и формирование цифрового высококонтрастного оригинала, с использованием предлагаемого в работе алгоритма, экспериментально учитывающего нелинейность процесса;

5. Передача данных в подмодуль архивации. Задание классификаторов поиска и текстового описания объекта.

6. Передача цифрового высококонтрастного оригинала в

модуль вывода и формирование изображения для предварительного экранного просмотра, предназначенного для визуальной идентификации;

7. Передача файла цифрового высококонтрастного оригинала, его текстового описания, классификаторов поиска и визуального идентификатора в модуль базы данных;

8. По запросу пользователя визуализация полученной информации в виде печатной или электронной (HTML) страницы;

9. Обращение к подмодулю поиска по описанию или классификаторам;

10. Вызов объекта из базы данных соответствующего заданным условиям поиска, воспроизведение его сохраненной экранной версии и текстового описания;

11. Передача файла цифрового высококонтрастного оригинала в модуль вывода;

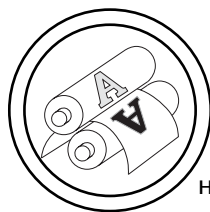
12. Задание параметров визуализации, необходимых для осуществления процедуры согласования динамических диапазонов оригинала и способа воспроизведения. Выбор оптимального оператора компрессии (tone mapping) динамического диапазона изображения высококонтрастного оригинала;

13. Обработка файла цифрового высококонтрастного оригинала с учетом выбранных параметров;

14. Сохранение полученного итогового файла на требуемый носитель.

*Модуль ввода изобразительной информации*

Первый модуль осуществляет ввод информации в базу дан-



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

ных. Из него вызываются подмодули, обеспечивающие выполнение вспомогательных операций. Так как необходимым условием является сохранение всех уровней светлот оригинала необходимо использовать технологию, удовлетворяющую данному критерию. Предлагается использовать алгоритм получения изображений высококонтрастных объектов, основанный на экспериментальном учете характеристической кривой съемочного процесса на основе весовых коэффициентов [4]. Данный метод хорошо себя зарекомендовал в системах управления воспроизведением [5].

Для построения виртуального цифрового высококонтрастного оригинала, предлагается осуществлять съемку объекта репродуцирования с несколькими значениями экспозиции.

При получении цифровой мастер-копии пиксельные координаты исходных снимков подвергаются преобразованию по формуле 1:

$$f(Z) = -\lg\left(\frac{Z}{Z_{\max}}\right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (1)$$

где  $Z$  — значение уровня квантования,  $Z_{\max}$  — максимальное принимаемое значение (для 8-битного квантования равно 255),  $\gamma$  — гамма профайла в фотокамере.

Большинство современных фотокамер используют два стандартных профайла sRGB и Adobe RGB. Гамма (тонопреобразующая кривая) характеризующая нелинейность в данных про-

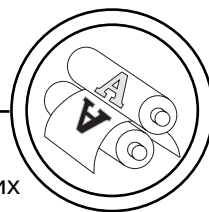
файлах, равняется 1,81 и 2,19 соответственно. Получение этих данных возможно непосредственно из файлов, либо данный параметр может быть указан пользователем.

Суммирование цифровых значений происходит по формуле 2 с использованием полученных из характеристической кривой фотокамеры весовых коэффициентов, которые позволяют определить «значимость» конкретного пикселя в общей сумме и учесть нелинейность процесса съемки.

$$Z^s(i, j) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot f(Z_k(i, j)), \quad (2)$$

$Z_s(i, j)$  — итоговое значение пикселя,  $n$  — количество изображений,  $i, j$  — координаты пикселя,  $\alpha$  — весовой коэффициент, позволяет исключить из общей суммы пиксели, находящиеся в зонах недо- или переэкспонирования. Весовые коэффициенты определяются, как производная от функции зависимости значения пикселя к полученной экспозиции. Соответственно для конкретной камеры они могут быть получены один раз дифференцированием характеристической кривой. Экспериментально характеристическая кривая по экспозиционной оси разбивается на ряд интервалов. Количество интервалов определяется в зависимости от требуемой точности. Операция определения весовых коэффициентов для конкретной камеры выполняется один раз подмодулем построения характеристической кривой.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



После проведения операции формирования цифровой мастер-копии, информация об объектах, дополняется текстовым описанием и передается в систему хранения. Доступ к базе данных осуществляется с помощью конкретной СУБД, модели должны быть реализованы на языке описания данных этой СУБД. Здесь возможно использование различных существующих программных решений.

### *Модуль вывода изобразительной информации*

Связь с объектами хранения осуществляется через обращение к подмодулю поиска по описанию или классификаторам. После обращения происходит вызов объекта из базы данных соответствующего заданным условиям поиска и воспроизведение его сохраненной экранной версии. Формирование итогового изображения осуществляется с учетом особенностей технологии воспроизведения высококонтрастных объектов.

При воспроизведении высококонтрастных оригиналов возникает градационная нелинейность и пространственная неоднородность в сжатии динамического диапазона до уровня, соответствующего возможностям системы воспроизведения. Выбор того или иного алгоритма сжатия зависит от целей репродуцирования и сюжета. Часто изображения, полученные в автоматическом режиме, могут быть неудовлетворительными с точки зрения потребителя. Общего единого универсального алгоритма не существует, одна-

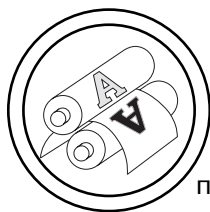
ко множество автоматических алгоритмов непрерывно пополняется [6—9].

Для отображения изображений с большим динамическим диапазоном яркостей на стандартных устройствах визуализации необходимо производить операцию согласования динамических диапазонов, а именно процедуру сжатия или тоновой компрессии (tone mapping). Качество работы таких операторов оценивается главным образом по уровню сохранения деталей изображения, локального контраста и отсутствию артефактов. Существенным фактором также является скорость работы алгоритма и объем требуемой памяти.

Операторы сжатия динамического диапазона яркостей могут быть разделены на две большие группы: глобальные (пространственно инвариантные) и локальные (пространственно зависимые) операторы.

Глобальные операторы преобразуют яркость каждого пикселя, используя фиксированную кривую, которая строится, используя некоторые усредненные характеристики всего изображения. Наиболее часто в качестве такой характеристики используется средняя логарифмическая яркость. Простота этих алгоритмов очень притягательна, но детали изображений часто теряются в особо ярких или очень темных областях изображения, где динамический диапазон особенно велик.

В локальных операторах преобразование яркости в каждом



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

пикселе зависит от средней яркости окрестности преобразуемого пикселя. Наиболее трудной и вычислительно дорогостоящей проблемой алгоритмов такого типа является правильное определение размера локальной окрестности для каждой точки. Разнообразные артефакты могут возникать в тех случаях, когда это сделано не совсем корректно.

В модуле вывода предлагается метод пространственно-селективной градационной коррекции, предложенный в работе [2], сходный с механизмом зрительной адаптации глаза по самой яркой точке с последующей передачей градаций в соответствии с естественным визуальным контрастом. Реализация которого хорошо себя зарекомендовала в смежных областях, в частности при изготовлении гравюр [10]. Идея заключается в сегментировании всего поля изображения на зоны, в которых градационная передача определяется соответствующим локальным максимумом или минимумом. Для обеспечения целостности визуального восприятия итогового изображения необходимо, чтобы границы смежных участков пересекались с некоторым размытием.

Последовательность действий при реализации алгоритма состоит из набора нескольких последовательных операций. На первом этапе происходит определение локальных максимумов и минимумов светлоты оригинала. На втором сегментация на участки с собственными градационными характеристиками. При этом учитывается,

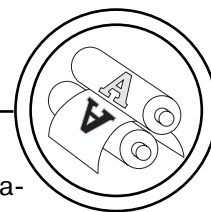
что размер участка не должен быть значительно меньше средней величины саккадического движения глаза, равной 5-15 угловым градусам. Далее происходит определение градационной характеристики каждого выделенного участка состоящее из двух шагов: локальный максимум (минимум) доводится до глобального максимума (минимума), достижимого в системе воспроизведения (тем самым достигается как согласование динамических диапазонов оригинала и системы воспроизведения, так и обеспечивается максимальное для данной системы градационное разнообразие изображения). Второй шаг заключается в построении градационного преобразования, обеспечивающего дубликативно точную передачу соотношений тонов светлоты оригинала в рассматриваемом сегменте изображения. И в заключении происходит незначительное изменение градационной коррекции на границах смежных сегментов с собственными градационными характеристиками.

### Выводы

Предлагается общая функциональная структура информационной системы реализации базы данных изобразительной информации, где хранимые цифровые оригиналы являются высококонтрастными изображениями объектов реального мира и необходимым условием является достижение дубликативной точности.

В модуле ввода предлагается алгоритм формирования ци-

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



фрового высококонтрастного оригинала, основанный на экспериментальном учете нелинейности процесса регистрации. Этот алгоритм исключает нелинейность процесса и позволяет зафиксировать прообраз, сохраняя все уровни яркостей присутствующих на объекте съемки. Полученное цифровое изображение становится виртуальным оригиналом, пригодным для многократного и многоцелевого использования и архивного хранения.

В модуле вывода предлагается градационное преобразование полученного оригинала последующее воспроизведение, которого зависит от конкретной художественной задачи. В этой связи требуется набор методов, позволяющих производить согласование динамических диапазонов. Предлагается проводить селективную по пространству градационную коррекцию, которая осуществляет сжатие динамического диапазона с учетом свойств зрения.

1. Артюшина И. Л. Особенности работы с высококонтрастными изображениями / Артюшина И. Л., Ахтариев Р. Ж., Винокур А. И., Дыдышко С. И. // Инженерный вестник. — 2009. — № 4. 2. Артюшин Л. Ф. Основы воспроизведения цвета / Л. Ф. Артюшин. — М. : Искусство, 1970. 3. Иванов П. С. Фиксация памятников церковного искусства как важное направление патриотического и нравственного воспитания / Иванов П. С. // Тезисы XVII Международных Рождественских образовательных чтений, 3-конференция «цифровое наследие». — 2009. 4. Артюшина И. Л. Методы регистрации и воспроизведения высококонтрастных оригиналов в системах с ограниченным динамическим диапазоном / Артюшина И. Л., Ахтариев Р. Ж., Винокур А. И. // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. — 2009. — № 4. — С. 9—15. 5. Белоусов А. А. Технология копирования архивных фильмо-вых материалов / А. А. Белоусов, А. И. Винокур, М. С. Васин. — М. : НИКФИ, 2003. 6. Jacobs A. High Dynamic Range Imaging and its Application in building Research / Jacobs A. // Advances in Building Energy Research, 2007. — vol. 01. — P. 177—202. 7. Artusi A. Real Time Tone Mapping / A. Artusi. Technischen Universität Wien. — 2004. — P. 54—76. 8. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов / А. Лукин. — М. : МГУ, 2002. 9. Барладян Б. Х. Эффективный оператор сжатия динамического диапазона яркостей / Барладян Б. Х., Волобой А. Г., Галактионов В. А., Копылов Э. А. // Программирование. — 2004. — № 5. — С. 35—42. 10. Железняков В. Цвет и контраст / В. Желязников. — М. : ВГИК, 2003. — С. 74—94.

Надійшла до редакції 29.06.10