УДК 004.932.2

# ДЕСКРИПТОРНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ КАК ОСНОВА ДЛЯ МОДУЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КАДРА В ПРОЦЕССЕ ОЦИФРОВКИ ФИЛЬМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПЛЁНОЧНОМ НОСИТЕЛЕ

**© Алексей Иосифович Винокур, Андрей Александрович Чертихин**
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова», Москва, Россия*
alex.vinokour@gmail.com, wasserfal@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается технология обработки цифровых копий архивных фильмовых материалов с целью стабилизации изображения при демонстрации. Учитывается специфическая деградация носителя – кинопленки, и возможность работы с фильмовыми материалами, кадры которых регистрируются на разных носителях – стереопары или цветоделенные сепарации. Излагаются общие принципы геометрической коррекции, основанные на использовании дескрипторов ключевых точек. Применительно к цветным изображениям предлагается специализированный дескриптор, который расширяет возможности использования технологии при небольших перепадах яркости внутри изображения.
**Ключевые слова:** обработка изображений, дескрипторы, фильмовые материалы, киноплёнка, коррекция искажений, архив, цифровое наследие, оцифровка, стереокино, стабильность кадра.

## DESCRIPTOR METODS OF IMAGE ANALYSIS AS A BASIS FOR A FRAME STABILIZATION MODULE IN A PROCESS OF DIGITIZATION OF FILM MATERIALS ON A FILM STRIP

**© A.I. Vinokur, A.A. Chertikhin**
*Moscow State University of Printing Arts, Moscow, Russia*

**Abstract**: Annotation. Reviewing the technology of digital copies of archived film materials processing in order to stabilize the image of the demonstration. Specific degradation of film carrier is taken into account, and the ability to work with film materials, which frames are being registered on different carriers - color separated images and stereogram. General princeps of geometric correction are being enounced, based on the use of key points descriptors. Special descriptor is applied to colour images tyhat extends the use of technology for small changes in brightness within the image.
**Keywords**: image processing, keypoint descriptors, film materials, film strip, correction of defects, archive, digital heritage, digitization, stereoscopic film, image stability

В настоящее время все активнее развивается процесс перевода фильмовых материалов в цифровую форму. Цифровые архивы для хранения кинофильмов, как и прочие системы агрегации цифрового наследия, имеют свою специфику и требуют помимо общего подхода к оцифровке и накоплению материала внедрения специальных функций, таких как семантический анализ фильма для организации нативного поиска аналогичного полнотекстовому для книжных архивов, анализ цветового пространства отображения цифровой копии с минимальными потерями на различных выводных устройствах или же анализ структуры кадра при предобработке материала перед сохранением для коррекции различных искажений и дефектов кадра. Последняя функция крайне актуальна применительно к архивам фильмовых материалов хранящихся не одно десятилетие, где, как

и в случае антикварной книги, имеет место деградация носителя [1]. Кроме того, и сам сканер в процессе работы способен вносить дополнительные, не являющиеся следствием деформации плёнки, искажения в цифровую копию материала. Такие артефакты образуются из-за наличия люфта в лентопротяжном механизме сканера, в результате чего кадры при создании копии находятся не в одинаковом положении. В результате на сложные нелинейные искажения, появляющиеся в результате обветшания носителя, накладываются новые дополнительные искажения, вносимые в процессе перевода в цифровую форму. Как следствие в цифровой копии появляется нестабильность кадра, которая значительно снижает ценность материала и препятствует его успешной капитализации. Эта проблема особенно ярко проявляется при работе с фильмами, зарегистрированными более чем на одном носителе, например, с такими как цветоделенные изображения или стереопары, так как в при демонстрации подобных материалов суммируются дефекты всех кадров. Задача совмещения копий таких фильмов становится весьма трудоёмкой и плохо автоматизируется без предварительной коррекции геометрии кадра. Так при работе с материалами, содержащими стереопары, стабилизация и коррекция геометрии кадров особенно важна ввиду необходимости поддерживать заданные параметры при демонстрации фильма для обеспечения стереоэффекта. Причём для процесса обработки стереопар возникает дополнительная трудность.

В идеальном случае стереопару можно рассматривать как два последовательных кадра с нулевой собственной динамикой сцены и известным смещением камеры. Наблюдения показывают, что практически во всех случаях присутствуют различия между двумя каналами стереопары [7]. Разное приближение плана, несоосность и прочие отличия, обусловленные несовершенством техники, в том числе и меняющиеся в произвольном порядке в пределах монтажного кадра.

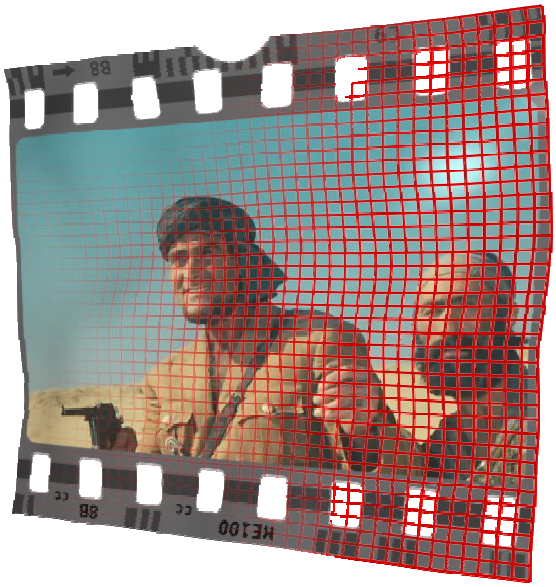


**Рис. 1.** Условное представление деформации кадра на плёночном носителе

Поэтому медиаархивы, которые предусматривают получение сколько-нибудь существенного объёма первичной информации из фильмовых материалов на плёночных носителях строить без внедрения функций коррекции фактически бессмысленно. Однако, на текущий момент подобные модули в основном являются лишь интерфейсом для применения ручного труда. Стабилизация и сборка во всех перечисленных случаях производится преимущественно человеком. Разумеется, предлагаются решения, позволяющие снизить процент погрешностей, вносимых люфтами; основанные на особенностях получаемых изображений: на цифровой копии кадра плёнки имеются в том числе и изображения

перфорации плёнки, используя которые как опорные точки, возможно выполнить коррекцию положения кадра [3]. Однако подобный подход позволяет решить лишь небольшую частную задачу общей нестабильности кадра в горизонтальной плоскости, оставив проблему деформации внутренней части нерешённой. Привязка к уже имеющимся маркерам, в том числе к упомянутой перфорации, есть частный случай поиска опорных точек на сцене, призванный решить проблему общей динамики сцены путём анализа её топологии на основе привязки к определённым ориентирам [5]. Поэтому с развитием информационных технологий естественным видится переход от анализа частных областей (участков перфорации, границ и т.п.) к поиску маркеров по всей сцене, т.е. найти некое стабильное соответствие между кадрами, не требующее предварительного задания опорных точек. Вместо них в качестве классифицирующего признака удобно брать математические описания явно выраженных особенностей участка сцены. Подобный подход позволит абстрагироваться от самого кадра и работать с малым объёмом формальных данных, снижая нагрузку на вычислительные ресурсы, выполняющие анализ и коррекцию искажений.

Ключевой точкой следует считать такую точку, которая имеет некие признаки, существенно отличающие ее от прочих участков изображения. Таковыми могут являться края линий, разномасштабные пятна, углы однородных областей и прочие резкие градиенты по яркости или цвету. Для построения описания вокруг точек необходимо будет выделить некую локальную окрестность и создать дескриптор точки на её основе. Дескриптором называют объект, который содержит результаты описания окрестности точки, используемое для её идентификации. Размер окрестности выбирается таким образом, чтобы на описание не влияли крупномасштабные искажения. Так, если объект в целом, подвержен эффекту перспективы, то для малого его участка перспективными искажениями можно пренебречь, учитывая лишь разницу в масштабе. Аналогично, небольшой поворот объекта вокруг некоторой оси может заметно изменить структуру отображения объекта в целом, но структура малых изолированных областей изменится при этом незначительно.

Кроме того, если часть одного кадра лежит за пределами другого, то небольшие участки вокруг части ключевых точек будут видны целиком, что также позволяет их легче идентифицировать. Аналогично, если малые области лежат целиком внутри некого искомого объекта, то на них не оказывают никакого влияния объекты фона.

С другой стороны, участок вокруг ключевой точки не должен быть слишком мал, так как описание в таком случае может нести слишком мало информации, в результате чего из-за низкой степени уникальности возможно возникновение большого количества ложных соответствий.

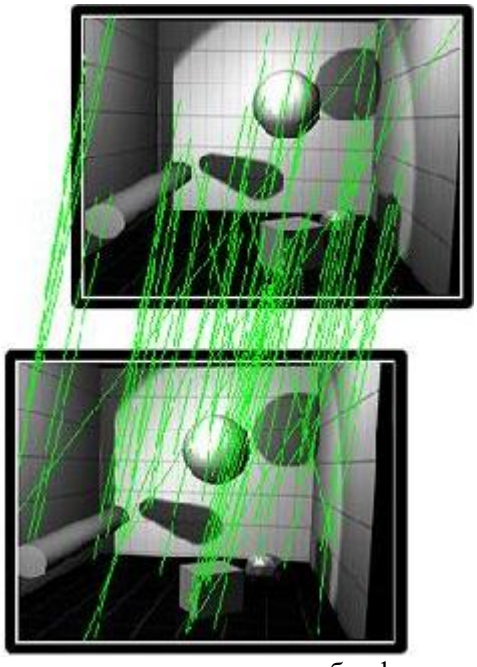


**Рис. 2.** Сопоставление ключевых точек на стереопаре без фильтрации ложных соответствий

Используя абстрактные дескрипторы, становится возможным создать формальный классификатор общих и локальных динамик.

Общая схема работы с кадром при работе с фильмовыми материалами в упрощённом виде следующая:

- Поиск наборов ключевых точек на последовательности кадров
- Фильтрация малозначимых и некорректных точек
- Установление соответствий между группами точек на разных кадрах
- Фильтрация незадействованных точек и ложных соответствий [6]
- Классификация типа динамики каждой из групп точек
- Фильтрация точек по определённому типу динамики
- Триангуляция кадра с использованием ключевых точек как опорных
- Построение прогноза об искажении кадра
- Коррекция динамики опорных точек сети

Соответственно, для построения алгоритма коррекции необходимо выделить и формализовать типичные возможные случаи расхождений между наборами точек в последовательности кадров фильма для дальнейшей разработки правил классификации присутствующих различий. Для этого необходимо определить основные виды возможных изменения сцены, которое и образует разницу в наборах.

Рассматривая различия между наборами дескрипторов смежных кадров в серии, можно выявить три множества ключевых точек:

- Точки, относительно сильно изменившие положение
- Малоподвижные точки
- Точки, отсутствующие на одном из двух соседних кадров

Типы же возможных искажений следующие:

- Собственная динамика участков сцены, заключающаяся в изменении объектов, остающихся при этом малоподвижными. Примером является колышущаяся на ветру листва, рябь на воде, изменение объёма грудной клетки при дыхании человека в кадре. Особенностью данного типа динамики является то, что область, демонстрирующая его, слабо воздействует на соседние участки. Также к данному типу можно отнести искажения, появляющиеся при сильном короблении хранимой в архивах плёнки ввиду усыхания материала. Для данного типа динамики характерно массовое появление/исчезновение ключевых точек и их слабо связанные внутри группы высокочастотные колебания в небольшой окрестности.
- Динамика объектов сцены, появляющаяся при движении объектов внутри относительно неподвижных участков сцены. Движущиеся объекты могут вносить неопределённость при анализе общего смещения кадра или параллакса стереоизображения. Для данного типа динамики характерно связанное перемещение группы точек, по характеру которого можно составить представление о направлении смещения объекта.
- Глобальное изменение положения кадра. Возникает, как правило, при относительном смещении камеры и сцены (например, съёмка плывущего теплохода крупным планом). При таком типе динамики наблюдается связанное изменение положения значительной части точек с одновременным исчезновением и появлением новых возле границ изображения.
- Глобальное изменение освещённости, заключающееся в изменении светового потока, регистрируемого камерой. При этом возможны затруднения при поиске общих участков на разных кадрах ввиду того, что одинаковые объекты на снимках будут описываться различными характеристиками. Характерно исчезновение точек и

появление на их месте новых со схожими характеристиками при достижении некоторого порога инвариантности к освещённости сцены.

Кроме анализа типов динамики точек, стоит определить, каким именно критериям должна соответствовать ключевая точка применительно к конкретной задаче оцифровки фильмовых материалов. Требования для анализа пригодности описаний ключевых точек можно сформулировать следующим образом:

- Повторяемость поиска одной точки в разных условиях
- Инвариантность к сдвигу
- Инвариантность к вращению
- Инвариантность к изменению освещённости
- Значимость точки для конкретной задачи
- Наличие достаточного количества точек в кадре
- Локальность точки

Для поиска точек большинство алгоритмов используют вариации метода Харриса или свёртку изображения лапласианом гауссиана. Подобные методы или их комбинация вполне эффективно решают задачу локализации и удовлетворяют части наших требований. Наиболее распространённым алгоритмом создания описанных точек является SIFT и его модификации (SURF, C-SIFT, и т.д.) [2, 4]. Детектором в данном случае является поисковый алгоритм на базе разницы гауссиан. Для получения инвариантности к вращению выполняется определение доминантной ориентации по градиентам: строится гистограмма направлений градиентов для каждой точки в окрестности и пик принимается за главный вектор направления, по которому ориентируется точка. Описание точки выполняется также на основе статистик по направлению градиентам.

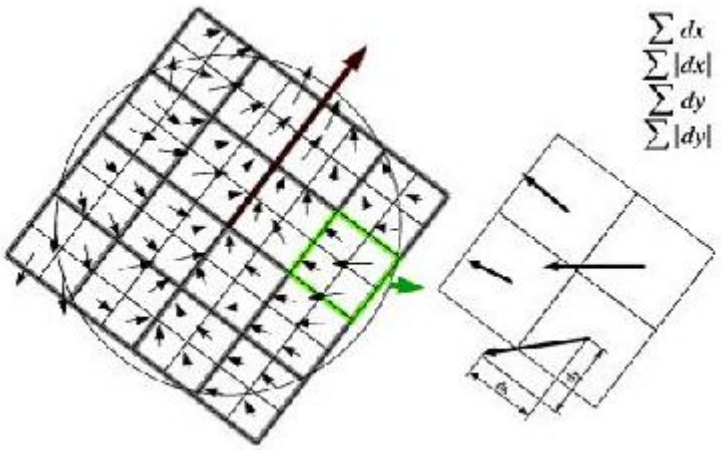



**Рис 3.** Графическое представление схемы определения доминантного градиента окрестности дескриптора SIFT

Т.е. для создания дескриптора используется усреднённое монохромное изображение в качестве канала яркости. Однако в цветном кинематографе монохромный анализ зачастую даёт слишком малое количество точек, так как подобный метод не учитывает цветовых градиентов в зонах с малым изменением яркости, т. е. пропускает значительную часть технологически существенной информации из-за того, что величина перепада яркости не превышает порогового значения, позволяющего классифицировать точку как важную.

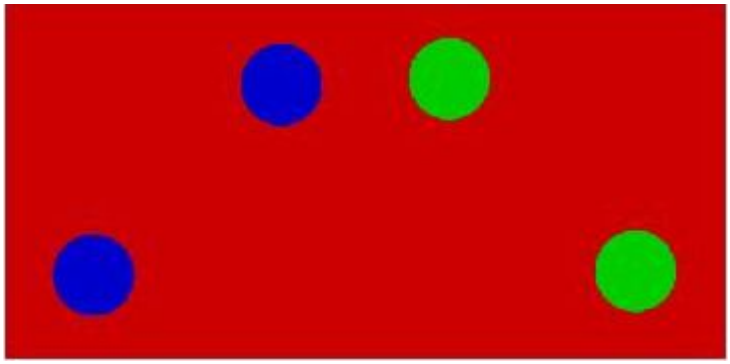


**Рис 4.** Равноконтрастные области, различные по цветовому составу

Существуют дескрипторы, реагирующие на цветовые различия, но их реализация в целом не намного эффективнее исходной монохромной, т.к. анализу подвергается аналог яркостной составляющей, но для каждого из цветных каналов.

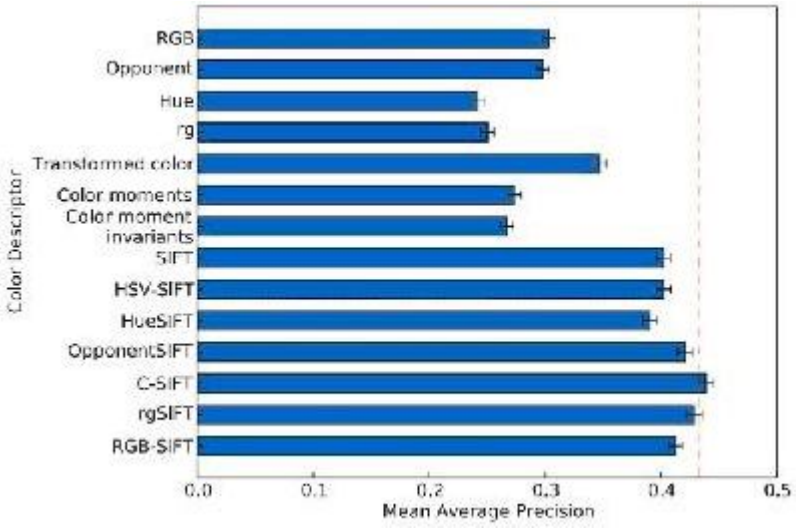



**Рис 5.** Сравнение различных алгоритмов построения дескрипторов

Поэтому перспективным видится путь, основанный на том, что за основу дескриптора можно принять цветовую характеристику окрестности в системе CIE L*a*b* по каналу ab.

Такой дескриптор позволит обрабатывать точки, находящиеся в местах с однородной яркостью, но разным цветовым составом. Этот дескриптор обеспечивает новые возможности получения технологически существенной информации об изображении в условиях нормирования по яркостному каналу.

Характеристический вектор можно представить как число в полярных координатах, тогда характеристика есть длина вектора и угол его поворота.

При таком подходе возникает проблема неточного определения цветовой координаты при низкой цветовой насыщенности – проблема малого радиуса. Объясняется это тем, что при переходе к полярной системе координат цвет описывается в комплексной форме выражением $re^{i\varphi}$, где $r$ - длина характеристического вектора, а $\varphi$ - угол его поворота на цветовой плоскости. При малом значении r погрешность определения угла будет слишком большой, чтобы обеспечивать необходимую точность и уникальность дескриптора.

Один из путей преодоления - при определённом пороге значения r переход к яркостной составляющей для составления описания.

Описание перехода можно представить в следующем виде:

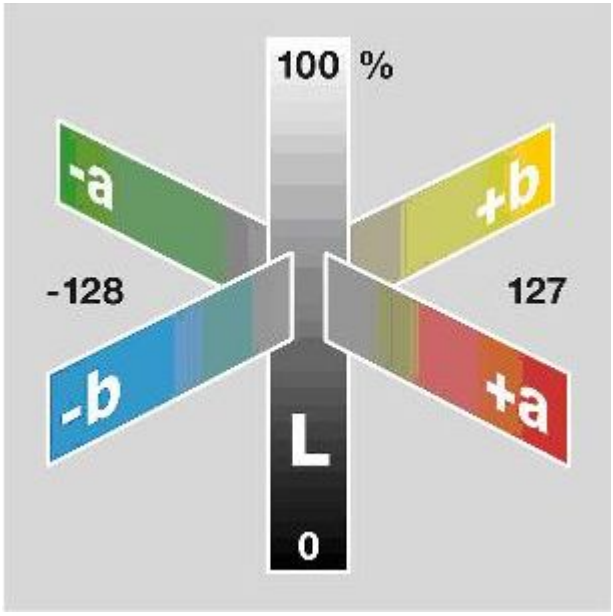



Рис 6. Схематическое представление системы CIE L*a*b*

$f=\alpha\cdot\varphi+(1-\alpha)\cdot L$

где

$\alpha=1$ при $r>r0$

$\alpha=0$ при $r<r0$

Подобный комплексный дескриптор будет наиболее точно отражать особенности точки в условиях кинокадра, что позволит приблизиться к решению главной цели, выражающейся в создании модуля, производящего максимально автоматизированную коррекцию дефектов.




Рис 7. Область высокой погрешности определения цветовых координат

**Список литературы**

1. Винокур, А.И. Технология копирования архивных фильмовых материалов / А.А. Белоусов, А.И. Винокур, М.С. Васин – Москва, НИКФИ — 2003, 180 стр.

2. Tuytelaars, Luc Van Gool // Computer Vision and Image Understanding (CVIU) — 2008 — Vol. 110(3) — pp. 346-359

3. Озеров, С. И. Метод компьютерного выравнивания кадров сканированной киноплёнки // Мир Техники Кино — 2011 — № 2(20) — С. 9-17

4. Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features // Proceedings of the International Conference on Computer Vision. 2 — 1999 — pp. 1150-1157

5. Mann, Steve Compositing Multiple Pictures of the Same Scene // IS&T's 46th Annual Conference, Cambridge, Massachusetts, May 9–14, 1993

6. Applications to Image Analysis and Automated Cartography / Martin A. Fischler, Robert C. Bolles // *Comm. Of the ACM* 24 — 1981 — p.p. 381–395

7. Майоров, Н.А. Становление и развитие отечественного стереокино // Мир Техники Кино — 2011 — № 19, С. 33-51