

Калибровка камер оптического стереомикроскопа с целью установки приемлимого вертикального диспаратета

Александра Афанасьева, Алексей Игнатенко, Екатерина Семейкина
Факультет вычислительной математики и кибернетики

Московский Государственный Университет, Москва, Россия

{afedorova, ignatenko, esemeikina}@graphics.cs.msu.ru

Аннотация

Оригинальная задача микроскопии, а именно - принятие решения по информации, полученной с микроскопа - обусловлена уровнем эксперта, а также временем, отведенным на принятие решения. К сожалению, одних данных, полученных с микроскопа, часто бывает недостаточно для принятия решения. Использование стерео существенно облегчает восприятие глубины, что особенно актуально в случае работы с прозрачными или иными сложными для визуального восприятия объектами небольших размеров. Подобная система подразумевает специальное программное обеспечение для создания дополненной реальности, отображаемой поверх данных, поступающих с микроскопа. При работе со стереомикроскопом существует ряд проблем, которые нельзя решить на уровне аппаратного обеспечения с точностью, достаточной для комфортной работы. Использование сразу двух камер для наблюдения за объектом влечет за собой необходимость их тщательной настройки для получения качественного стереоизображения, необходимого для комфортного наблюдения объекта в стерео. Ввиду сильного увеличения даже небольшие погрешности в аппаратных настройках микроскопа могут повлечь за собой весьма сильные ошибки в отображении стереоданных, а ограниченная точность аппаратуры данные проблемы вынуждает решать данную проблему на уровне программного обеспечения с помощью калибровки. При работе с микроскопом возможно возникновение таких проблем, как горизонтальная и вертикальная диспаратность изображений, поступающих с камер микроскопа. Статья посвящена контролю вертикального диспаратета и его настройке в процессе работы со стереомикроскопом.

Keywords: стереомикроскоп, стереопоток, стереоизображение, калибровка, вертикальный диспаратет.

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с большим количеством поступающих данных и сложностью их восприятия невооруженным глазом требуются дополнительные системы для анализа и обработки информации. Подобные системы подразумевают под собой набор инструментов для визуального изучения данных. Ввиду сложности восприятия некоторых типов данных используются оптические микроскопы. Оригинальная задача микроскопии, а именно - принятие решения по информации, полученной с микроскопа - обусловлена уровнем эксперта и временем, отведенным на принятие решения. К сожалению, данных, полученных с микроскопа, часто бывает недостаточно для принятия решения ввиду ряда проблем, свойственным аналоговым системам – для грамотной работы с объектом под микроскопом требуются особые навыки. Обычный микроскоп не позволяет записать полученные

данные или же расширить глубину резкости для более качественного восприятия. В данном случае хорошей альтернативой оптическому может стать цифровой стереомикроскоп, где решены многие проблемы, возникающие при работе с обычным оптическим микроскопом (окуляры заменены на цифровые камеры высокого разрешения, обеспечивается вывод изображения на стереомонитор, откуда его можно наблюдать в стерео с использованием стереочков, подвижка микроскопа моторизована, и положение объекта можно настроить при помощи джойстика или клавиатуры, что обеспечивает лучшее качество и более высокую скорость работы). Использование стерео существенно облегчает восприятие глубины, что особенно актуально в случае работы с прозрачными, сложными для восприятия микрообъектами. Подобная система подразумевает специальное программное обеспечение для создания дополненной реальности, отображаемой поверх данных, содержащую дополнительную информацию, актуальную для пользователя, а также обеспечивает возможность различных измерений и записи данных для последующих демонстраций и анализа.

При работе со стереомикроскопом существует ряд проблем, которые нельзя решить на уровне аппаратного обеспечения с точностью, достаточной для комфортной работы. Использование двух камер для наблюдения за объектом влечет за собой необходимость их тщательной настройки для получения качественного стереоизображения, необходимого для комфортного наблюдения объекта в стерео. Ввиду сильного увеличения даже небольшие погрешности в аппаратных настройках микроскопа могут повлечь за собой сильные ошибки в отображении стереоданных. Поэтому ввиду ограниченной точности аппаратуры данные проблемы приходится решать на уровне программного обеспечения с помощью калибровки. Возможно возникновение таких проблем, как горизонтальная и вертикальная диспаратность изображений, поступающих с камер микроскопа. Существуют некие численные ограничения на диспаратет, при которых просмотр стереоизображений с определенного расстояния комфортен для глаз пользователя. Данное расстояние зависит от расстояния до экрана, с которого осуществляется просмотр данного стереоизображения, а также от разрешения и от физических размеров экрана. Особое внимание при работе следует уделить состоянию вертикального диспаратета, поскольку наличие даже небольшого вертикального несоответствия сильно ухудшает качество восприятия и приводит к дискомфорту (т.к. левый и правый глаз наблюдателя видят пиксели, смещенные друг относительно друга по вертикали).

Работа посвящена оценке и контролю вертикального диспаратета в стерео, возникающем при работе со стереомикроскопом, а также расчету расстояния, оптимального для просмотра текущей стереопары с заданного экрана.

При установке объекта под микроскоп требуется оценить уровень вертикального диспаратета текущей стереопары и при необходимости выровнять его. В ходе продолжительного рассмотрения положения камер могут сбиваться, и требуется дополнительная настройка для дальнейшего комфортного продолжения работы.

В работе описан алгоритм подсчета вертикального диспаратета на различных областях стереоизображения, а также представлена функция оценки общего состояния стереоизображения. Алгоритм оценки вертикального диспаратета основан на поиске и сопоставлении ключевых точек на стереоизображениях. Разработанный инструмент позволяет получить интегральную оценку вертикального диспаратета и скалибровать камеры микроскопа для комфортного просмотра.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

Поставленная задача интегрирует в себе несколько областей:

- создание инструмента дополненной реальности, направленного на улучшение качества работы со стерео, т.е. разработка концепции работы со стереопотоком,
- оценка уровня вертикальной диспаратности изображения,
- разработку алгоритма диагностики текущего состояния изображения на основе рассчитанного диспаратета,
- разработку алгоритма калибровки, который позволит вычислить преобразование камер, необходимое для получения более комфортной, чем на текущем кадре, стереокартинки.

В настоящее время различные системы дополненной реальности активно разрабатываются для применения в различных областях промышленности и медицины ([2], [3], [10]), а также игр и различных систем для проведения психологических исследований. Часть ресурсов посвящена разработке инструментов дополненной реальности для различных стереосистем (они также могут применяться в медицине – например, для улучшения качества работы хирургов – см. работы [1], [7], [13], что актуально как для проведения медицинских исследований, так и для улучшения удобства и скорости работы, например, при проведении хирургических операций), а также способам оценки качества работы подобных систем (в работе [4] приведен обширный обзор существующих методов для оценки качества работы). Целая группа работ посвящена оценке качества работы инструментов, составляющих системы дополненной реальности. Часть из них посвящено оценке качества стерео в контексте рассмотрения таких аспектов, как комфорт просмотра в случае, если левое и правое изображения стереопары обладают различными характеристиками (например, различаются по качеству – см. работу [8], цвету, степени сжатия – см. работу [11]). Ряд исследований, включая то, которое описывается в настоящей работе, посвящено разработке системы дополненной реальности для данных, поступающих с микроскопа (например, [5], [6]). Разработка подобной системы подразумевает учет особенностей стереопотока – макросъемку и малую глубину резкости изображений. Для оценки вертикальной диспаратности изображений требуется решать задачу о поиске стереосоответствий. Существует два подхода к решению

данной задачи – подход на основе корреляции пикселей изображения и подход с использованием ключевых особенностей изображения. Работы, основанные на корреляции пикселей (например, [9] или [12]), как правило посвящены построению карт диспаратетов, основаны на глобальных алгоритмах поиска стереосоответствий и тестируются на стандартных базах стереоизображений, содержащих в себе как тестовые, так и эталонные данные. Однако в большинстве своем данные методы предназначены преимущественно для расчета горизонтального диспаратета, и поэтому не подходят для случаев, в которых стереоизображения обладают как горизонтальной, так и вертикальной диспаратностью, а также повернуты друг относительно друга. Поэтому для оценки вертикального диспаратета использовался подход на основе использования ключевых точек и оценки вертикального диспаратета на основе установленных соответствий между изображениями стереопары.

Ввиду того, что область исследований, посвященных созданию инструментов дополненной реальности для работы со стереоданными, тем более в условиях макросъемки, только начинает развиваться в настоящее время, сложно найти готовый инструмент, учитывающий особенности стереоданных и решающий поставленную задачу. Предложенный в работе алгоритм, в силу своей простоты, удобен в реализации и может быть использован при обработке произвольных стереоданных как для контроля диспаратета (как вертикального, так и горизонтального), так и для расчета расстояния, оптимального для просмотра со стереомониторов, подключенных к стереомикроскопу. Также предусмотрена возможность калибровки камер микроскопа, позволяющая уменьшить вертикальный диспаратет изображений, тем самым улучшая качество стерео и комфорт восприятия данных.

3. ПРЕДЛОЖЕННЫЙ ПОДХОД

3.1 Описание алгоритма

3.1.1 Основные понятия

Оценка того, комфортно ли изображение для просмотра в контексте его вертикальной диспаратности, осуществляется исходя из усредненных значений вертикальной диспаратности различных частей изображения. В контексте введенной терминологии было принято, что условно блок изображения может быть

- *полностью комфортным для просмотра* (вертикальный диспаратет близок к нулю или равен нулю)
- *приемлимым для просмотра* (небольшой вертикальный диспаратет)
- *некомфортным для просмотра* (вертикальный диспаратет слишком большой, что приводит к дискомфорту при просмотре)

Была проведена экспертная оценка на нескольких объектах, посредством которой были выявлены пороги на значения диспаратета при просмотре изображения с 24-х дюймового монитора с расстояния около 40 см.

3.1.2 Оценка диспаратета по блокам

На первом этапе изображения стереопары разбивается на блоки по горизонтали и по вертикали. Размер блока может быть разным, в текущей версии алгоритма предусмотрена

возможность настройки количества блоков по горизонтали и по вертикали. Для видео разрешением 1920x1080 пикселей разрешение блоков по горизонтали и вертикали по умолчанию задается равным 5.

Затем для каждого блока левого и правого изображения стереопары производится поиск ключевых особенностей, после чего осуществляется их сопоставление.

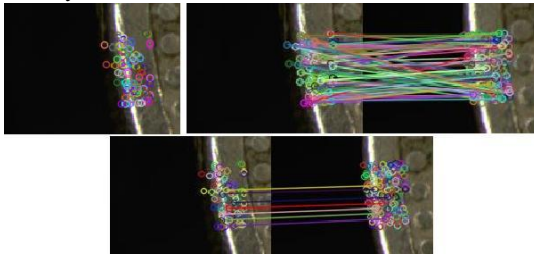


Рисунок 1. Ключевые точки на блоке изображения и найденные сопоставления (отобранные при помощи соответствия голосования - внизу).

Каждое соответствие характеризуется парой <горизонтальный диспаратет, вертикальный диспаратет>. Найденные сопоставления фильтруются от выбросов по принципу голосования данных пар. В процессе голосования отбираются пары соответствий, в некоторой окрестности параметров которых содержится максимальное количество соответствий (см. рисунок 1).

В текущей реализации берется окрестность размером 1, т.е. фактически квадрат 3x3 с максимальным числом соответствий, которые ему принадлежат. *Вертикальным диспаратетом блока* считается диспаратет, соответствующий центру квадрата. Для большей точности можно также усреднять диспаратеты по квадрату с весами согласно числу соответствий для каждой целочисленной пары из вертикального и горизонтального диспаратета. После прохождения описанных этапов для каждого блока мы получаем значения среднего диспаратета для всех блоков.

3.2 Стратегия диагностики потребности в перекалибровке

На текущем этапе необходимость в калибровке определяется согласно следующей стратегии. Задается *минимальное количество ключевых точек блока, победивших в голосовании*, при котором посчитанный для блока диспаратет считается надежным. Затем вычисляется число “надежных” блоков. Если процент таких блоков ниже некоторого *порогового процента “надежных” блоков*, алгоритм считает, что полученный результат нельзя считать надежным. Это случай, когда объект не подходит для калибровки или же задан слишком высокий процент “надежных” блоков. Если процент “надежных” блоков достаточно велик, вычисляется процент блоков с диспаратетом ниже *минимального порога для диспаратета*. Если процент таких блоков выше *заданного порогового процента блоков с небольшим диспаратетом*, мы считаем, что перекалибровка не нужна. В противном случае рекомендуется произвести перекалибровку (понятия, выделенные курсивом, конфигурируются из настроек программного обеспечения микроскопа).

Присутствует 4 варианта раскраски блоков, в зависимости от значений их диспаратетов относительно порогов $d1$ и $d2$. $d1$, $d2$, а также минимальное число ключевых точек, необходимых для достоверной оценки среднего диспаратета конфигурируются из файла с настройками. После оценки среднего диспаратета в каждом блоке производится интегральная оценка состояния текущего стереоизображения. Возможно несколько ситуаций:

- изображение комфортно для просмотра (процент блоков, комфортных для просмотра, превышает пороговое значение),
- изображение приемливо для просмотра (процент блоков, приемливых для просмотра, превышает пороговое значение),
- изображение некомфортно для просмотра, требуется перекалибровка камер для улучшения согласованности их положения (уменьшения вертикального диспаратета).

3.3 Итеративная калибровка камер

После оценки диспаратета есть возможность скалибровать камеры для коррекции вертикального диспаратета между картинками. Для случая, если диспаратет текущей стереопары существенно превышает порог на допустимое значение, а также для более тщательной настройки положения камер микроскопа, помимо возможности простой калибровки также реализована возможность *итеративного режима работы* калибровки, при которой последовательная оценка вертикального диспаратета с расчетом необходимого преобразования координат подвижки и непосредственное изменение положения камер осуществляются заданное количество раз.

3.4 Расчет оптимального расстояния для просмотра стереоизображения с заданного стереомонитора

При просмотре со стандартного 24” монитора изображения, растянутого по вертикали на весь экран, эмпирически были определены пороги на вертикальный диспаратет, при которых изображение было комфортно и просто приемливо для просмотра. Исходя из экспериментов, порог на качественный (приемлимый) уровень диспаратета при просмотре со стандартного монитора с диагональю 24 дюйма на расстоянии около полуметра составляет около 3-х (соответственно 8-ми) пикселей. Подставив данные значения в формулы, можно вычислить соответствующие пороги на угол α :

$$\tan \alpha = \frac{d_{\text{физический}}}{r}, \quad d_{\text{pixel}} = \frac{d_{\text{физический}}}{ppi}$$

Исходя из тех же выражений, можно выразить общую формулу для вычисления расстояния, комфортного для просмотра для монитора с заданным числом пикселей на дюйм при рассчитанном для стереопары уровне вертикального диспаратета стереоизображения:

$$r = \frac{d_{\text{физический}}}{\tan \alpha_{\text{пороговое}}} = \frac{d_{\text{pixel}}}{\tan \alpha_{\text{пороговое}} ppi}$$

4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Описанный в работе алгоритм реализован в виде плагина к приложению Digital Microscope (подробное описание доступно на сайте <http://dm.octonus.com/>) и может быть применен при работе с произвольными типами данных. В плагине реализованы возможность расчета допустимого

вертикального диспаратета для заданного экрана, учитывающая его разрешение и физический размер. В случае работы со стереоизображениями с вертикальной диспаратностью, превышающей пороговую, система сигнализирует об этом пользователю специальным сообщением. Также предусмотрен расчет расстояния, оптимального для просмотра заданной стереопары с текущего монитора или телевизора, учитывающий текущий уровень вертикальной диспаратности стереоизображения и разрешение экрана.

5. ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанный алгоритм был вручную верифицирован на наборе из 12-ти объектов (примеры объектов приведены на рисунке 2), изучаемых под стереомикроскопом. Каждый объект рассматривался с 4-х различных зумов. Для каждого зума рассматривался набор искусственных искажения взаимного расположения камер, нуждающихся в перекалибровке: сдвиг, поворот и смешанное искажение (сдвиг + поворот).

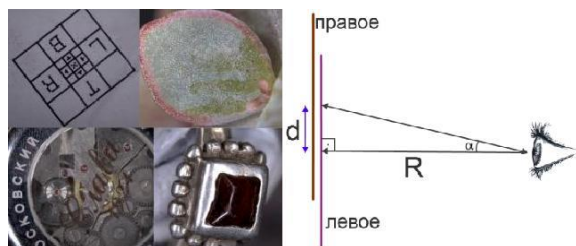


Рисунок 2. Слева - примеры калибровочных объектов. Справа - вертикальный диспаратет и оптимальное расстояние для комфортного восприятия.

Каждый вид искусственного искажения камеры был протестирован трижды (сильное, среднее и слабое искажение). Таким образом, для каждого объекта заполнялся набор таблиц:

вид искажения и его величина	сдвиг	поворот	сдвиг + поворот
Слабая раскалибровка
Средняя раскалибровка	количество калибровок для достижения результата
Сильная раскалибровка

Таблица. Статистика съемки объекта на фиксированном зуме.

Ячейка таблицы содержала количество калибровок, требуемых для достижения приемлимого результата (среднего диспаратета менее порога T2), а также количество калибровок, требуемых для достижения хорошего результата (среднего диспаратета менее порога T1) или же указание о неудаче, если по истечении 20-ти итераций калибровки не удалось скалибровать до достижения приемлимого (хорошего) состояния. По результатам тестирования было установлено, что в 64% проценте случаев удавалось достичь хорошего результата после первой калибровки. В 13% достичь хорошего результата для данного зума и позиции не удалось. В 26 % случаев достичь хорошего состояния удалось по результатам нескольких калибровок, причем в половине от этих случаев – за 2-3 калибровки. Приемлимого результата удалось достичь в

100% случаев, в 96% - после первой калибровки.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инструмент полезен как при работе пользователя с микроскопом с монитора, так и при просмотре данных с использованием телевизора произвольного разрешения, т.к. приемлимое для просмотра данных расстояние существенно зависит от уровня вертикального диспаратета и влияет на качество и комфорт восприятия в стерео.

7. ИСТОЧНИКИ

- [1] Aschke M. et al. Augmented reality in operating microscopes for neurosurgical interventions //Neural engineering, 2003. Conference Proceedings. First international IEEE EMBS conference on. – IEEE, 2003. – С. 652-655.
- [2] Bimber O., Raskar R. Modern approaches to augmented reality //ACM SIGGRAPH 2006 Courses. – ACM, 2006. – С. 1.
- [3] Birkfellner W. et al. A head-mounted operating binocular for augmented reality visualization in medicine-design and initial evaluation //IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2002. – Т. 21. – №. 8. – С. 991-997.
- [4] Dünser A., Grasset R., Billinghurst M. A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. – Human Interface Technology Laboratory New Zealand, 2008. – С. 5: 1-5: 27.
- [5] Eckert L., Grigat R. R. Biologically motivated, precise and simple calibration and reconstruction using a stereo light microscope //Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on. – IEEE, 2001. – Т. 2. – С. 94-101.
- [6] Figl M. et al. A fully automated calibration method for an optical see-through head-mounted operating microscope with variable zoom and focus //IEEE transactions on medical imaging. – 2005. – Т. 24. – №. 11. – С. 1492-1499.
- [7] Liévin M., Keeve E. Stereoscopic augmented reality system for computer-assisted surgery //International Congress Series. – Elsevier, 2001. – Т. 1230. – С. 107-111.
- [8] Moorthy A. K. et al. Subjective evaluation of stereoscopic image quality //Signal Processing: Image Communication. – 2013. – Т. 28. – №. 8. – С. 870-883.
- [9] Mozerov M. G., van de Weijer J. Accurate stereo matching by two-step energy minimization //IEEE Transactions on Image Processing. – 2015. – Т. 24. – №. 3. – С. 1153-1163.
- [10] Schwald B., De Laval B. An augmented reality system for training and assistance to maintenance in the industrial context. – 2003.
- [11] Seuntjens P., Meesters L., Ijsselstein W. Perceived quality of compressed stereoscopic images: Effects of symmetric and asymmetric JPEG coding and camera separation //ACM Transactions on Applied Perception (TAP). – 2006. – Т. 3. – №. 2. – С. 95-109.
- [12] Shi C. et al. High-accuracy stereo matching based on adaptive ground control points //IEEE Transactions on Image Processing. – 2015. – Т. 24. – №. 4. – С. 1412-1423.
- [13] Shuhaiber J. H. Augmented reality in surgery //Archives of surgery. – 2004. – Т. 139. – №. 2. – С. 170-174.
- [14] Vogl W., Ma B. K. L., Sitti M. Augmented reality user interface for an atomic force microscope-based nanorobotic system //IEEE transactions on nanotechnology. – 2006. – Т. 5. – №. 4. – С. 397-406.

