

Исследование методов коррекции геометрических искажений на видеоизображении

С. Е. Мясников, К. В. Ежова

Аннотация — в статье рассматриваются существующие методы исправления радиальной дисторсии для видеоизображения.

В современном мире визуальные данные играют ключевую роль в различных областях, включая медицину, автомобильную промышленность, компьютерное зрение, искусственный интеллект и многие другие. Однако при получении изображений возникают искажения, которые могут серьезно влиять на точность и надежность анализа данных. Одним из наиболее распространенных типов искажений является дисторсия изображения – искажение геометрических форм объектов на изображении из-за несовершенства оптических систем или искажения в процессе передачи данных.

Исследование методов коррекции дисторсии на изображении представляет собой актуальную и важную задачу в области компьютерного зрения и обработки изображений. Эффективные методы коррекции дисторсии позволяют улучшить качество изображений, сохраняя при этом важные геометрические характеристики объектов на них. Точное исправление радиальной дисторсии имеет важное значение особенно для многих задач оптического распознавания, прежде всего потому, что дисторсия искажает прямые линии, а на детекции прямолинейных отрезков построены многие алгоритмы выделения и анализа объектов.

При этом для обработки видеопотока с абберациями предъявляется ряд жестких требований как на уровне аппаратного обеспечения, так и на уровне программной реализации. Для камер видеонаблюдения такими требованиями являются их технические характеристики, которые должны обеспечить достаточно высокое качество передаваемого видеопотока для задач последующего распознавания объектов на нем. Для программного обеспечения – это необходимое быстродействие для работы в режиме реального времени и требуемая точность алгоритмов.

В данной работе проводится глубокий анализ существующих методов коррекции дисторсии, исследуется их применимость и допустимые параметры оптических систем с параметрами выходного видеоизображения.

В первом разделе рассматривается понятие радиальной дисторсии и ее видов. Во втором разделе – основные подходы исправления радиальной дисторсии. Третий раздел содержит описание концепции разрабатываемой системы и перспектив ее дальнейшего развития в рамках научно-исследовательской работы.

Ключевые слова — коррекция геометрических искажений на видеоизображении, компьютерное зрение, радиальная дисторсия.

Мясников Сергей Евгеньевич, Университет ИТМО (ms.sergey.e@mail.ru).

Ежова Ксения Викторовна, Университет ИТМО (ezhovakv@itmo.ru).

I. ВВЕДЕНИЕ

Дисторсия - искажение, возникающее при нелинейной зависимости увеличения объекта на изображении, то есть увеличение различно для разных точек поля. Прямые линии изображения кажутся деформированными или неестественно изогнутыми. Выходящие из предметной точки A лучи проходят через оптическую систему и создают гомоцентрический пучок, собирающийся в плоскости изображения в точке A' , которая смещена от идеальной на некоторое расстояние. Это смещение нелинейно зависит от расстояния предметной точки до оптической оси, то есть увеличение различно для разных точек поля. Если кроме дисторсии других аббераций нет, то прохождение луча через оптическую систему выглядит как показано на рисунке 1.

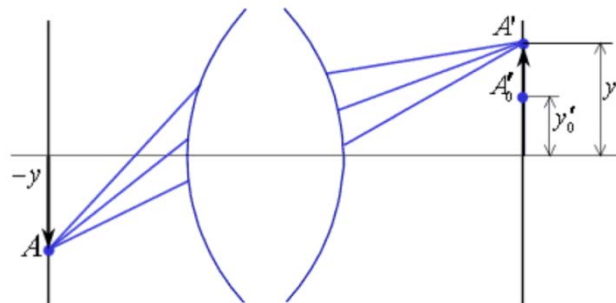


Рисунок 1 – Ход лучей в оптической системе при наличии радиальной дисторсии [2]

При дисторсии не нарушается резкость изображения, но искажается его форма. Значение дисторсии для данной точки поля определяется разностью между ординатой y'_q главного луча и ординатой y'_{0q} , соответствующей идеальному изображению:

$$\delta y = y'_q - y'_{0q}. \quad (1)$$

Абсолютная дисторсия (выражается в тех же единицах, что и величина изображения):

$$\Delta y' = y' - V \cdot y, \quad (2)$$

где V – увеличение системы для данной точки;

y' – координаты идеальной точки.

Коэффициент линейного увеличения при этом можно определить следующим образом:

$$\beta = \frac{y'}{y}. \quad (3)$$

Относительная дисторсия:

$$\Delta\% = \frac{\Delta y'}{y'_0} \cdot 100\% = \left(\frac{y'}{V \cdot y} - 1 \right), \quad (4)$$

График относительной дисторсии 3 порядка приведен на рис.2 Для сравнения показан примерный ход кривой дисторсии высшего порядка. σ - отношение реальной предметной координаты к ее максимальному значению.

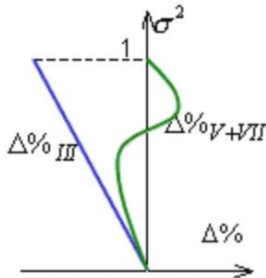


Рисунок 2 - Дисторсия 3-го и высшего порядков [3]

Из формул (1) и (3) следует, что если $|\beta|$ возрастает при удалении предметной точки от оптической оси, то увеличивается дисторсия системы δu . В этом случае дисторсия называется положительной (подушкообразной). Если $|\beta|$ уменьшается, то уменьшается и дисторсия системы δu . Такая дисторсия называется отрицательной (бочкообразной) (рис.3).

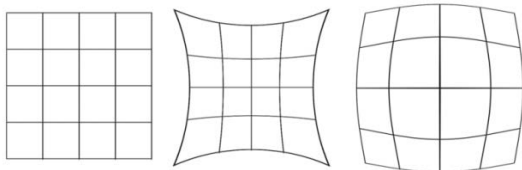


Рисунок 3 — Виды дисторсии: исходный объект; изображение при положительной и отрицательной дисторсии [3]

II. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ РАДИАЛЬНОЙ ДИСТОРСИИ

Условно методы коррекции радиальной дисторсии можно разделить на 2 типа – те, в которых используется калибровочный объект и компьютерное зрение (чаще всего для этого используется шаблон шахматной доски с известными параметрами), и те, в которых нет.

Метод коррекции дисторсии с использованием модели камеры:

Данный метод основан на применении математической модели камеры с целью компенсации геометрических искажений, происходящих при оптической записи изображения. В частности, широко используемой моделью является “пинхол” которая учитывает искажения с использованием коэффициентов дисторсии. Процесс коррекции начинается с процедуры калибровки камеры, в ходе которой определяются параметры модели, включая коэффициенты искажения.

Определение коэффициентов дисторсии может быть достигнуто с использованием методов, таких как алгоритм Цзе-Канни-Ху, который базируется на точной калибровке сцены с использованием известных геометрических структур. После получения коэффициентов дисторсии применяется геометрическое

преобразование, осуществляемое на уровне пикселей изображения, с целью ректификации изображения и устранения искажений.

Этот метод предоставляет высокую точность коррекции, особенно при условии правильной калибровки камеры, и находит широкое применение в областях, таких как компьютерное зрение и фотограмметрия. Тем не менее, он требует тщательной калибровки, и результаты могут оказаться зависимыми от условий съемки и характеристик используемой оптики.

Метод коррекции дисторсии на основе обработки изображений (метод авто-калибровки):

Данный метод ориентирован на применение алгоритмов обработки изображений для обнаружения и коррекции геометрических искажений без явного использования модели камеры. Это подходит для сценариев, где сложно или невозможно точно описать оптические характеристики камеры или когда они динамически изменяются.

Одним из распространенных методов является алгоритм, основанный на анализе особых точек изображения, таких как углы или линии. Применение техник детекции особых точек, например, методов на основе углов Харриса или FAST, позволяет выявить искажения и реконструировать геометрию сцены. Затем выполняется коррекция искажений путем применения геометрических преобразований к соответствующим областям изображения.

В последние годы также активно применяются методы глубокого обучения, в частности нейронные сети, для обнаружения и коррекции дисторсии. Нейронные сети обучаются на больших наборах данных изображений с предварительно известными параметрами дисторсии, что позволяет им эффективно обобщать и корректировать дисторсии на новых изображениях.

Этот метод обладает высокой гибкостью, так как не требует жесткой предварительной калибровки камеры, но может потребовать значительных вычислительных ресурсов, особенно при использовании глубокого обучения. Применение методов обработки изображений и искусственного интеллекта в данном контексте предоставляет перспективы для автоматизированного и точного восстановления геометрических характеристик изображений.

III. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ РАДИАЛЬНОЙ ДИСТОРСИИ

Для коррекции радиальных искажений необходимо знать модель для сопоставления искаженного пространства с неискаженным пространством. Отображение из неискаженного пространства в искаженное пространство является прямым отображением (рис. 4), а обратный процесс, соответственно, это обратное отображение (рис. 5).

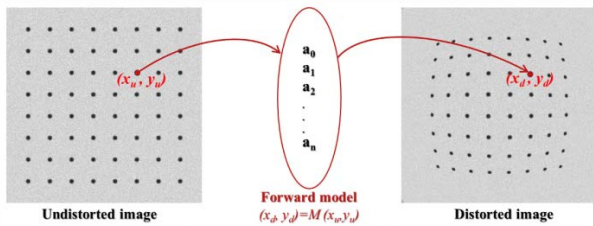


Fig. 5 Forward mapping.

Рисунок 4 - Прямое отображение [4]

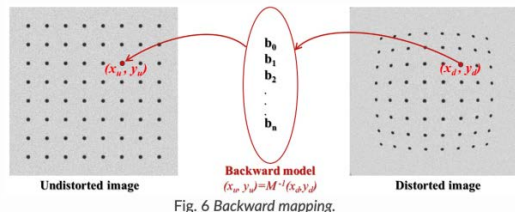


Fig. 6 Backward mapping.

Рисунок 5 - обратное отображение [4]

Существует множество моделей, которые можно выбрать из литературы [4, 5, 6], таких как полиномиальные, логарифмические, модели на основе поля зрения или матрицы, для описания взаимосвязи между неискаженным пространством и искаженным пространством. Исходя из выбранной модели, можно найти практический подход к расчету параметров этой модели.

Чтобы рассчитать параметры модели искажения, необходимо определить координаты опорных точек в искаженном пространстве и их положение в неискаженном пространстве соответственно. Опорные точки могут быть извлечены с помощью изображения объекта калибровки, дающего изображение в виде линии или точечного рисунка (рис. 4), которое искажено. Используя условия, согласно которым линии этих точек должны быть прямыми, равноудаленными, параллельными или перпендикулярными, можно с высокой точностью оценить местоположение этих опорных точек в неискаженном пространстве.

Одни из методов коррекции радиальных искажений, представлены в [4, 8]. Эти методы используют полиномиальные модели и используют калибровочное изображение для вычисления коэффициентов моделей, в которых оптический центр определяется независимо. Причина использования этих моделей и калибровочного изображения заключается в достижении субпиксельной точности, строго требуемой системами параллельной лучевой томографии.

В первую очередь происходит извлечение опорных точек из калибровочного изображения.

Целью калибровочного изображения (рис. 6 (a, b, c)) является предоставление опорных точек (рис. 6 (d)), которые могут быть извлечены из изображения с использованием некоторых методов обработки изображений. Как показано на рис. 7, существует несколько калибровочных изображений, которые можно использовать на практике. Изображение с точечным рисунком (рис. 6(a)) проще всего обрабатывать, потому что необходимо просто сегментировать точки и вычислить центр масс каждой точки. Для получения изображения с линейным рисунком (рис. 6(b)) необходим метод обнаружения линий. Точки на обнаруженных линиях или точки пересечения между

этим линиями могут использоваться в качестве опорных точек. Для изображения шахматной доски (рис. 6(b)) можно использовать некоторые методы определения углов или применить градиентный фильтр к изображению и использовать метод определения линий.

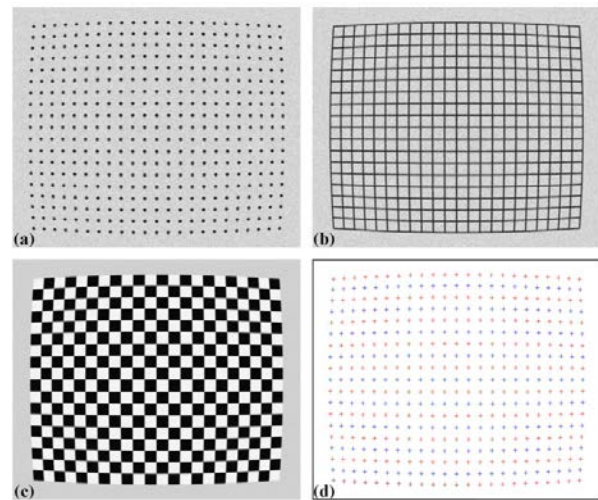


Рисунок 6 - (a) Изображение точечного рисунка. (b) Изображение линейного узора. (c) Изображение шахматной доски. (d) Извлеченные опорные точки из изображений (a), (b) и (c). [4]

На практике полученные калибровочные изображения не всегда выглядят красиво, как показано на рис. 6. Некоторые из них очень сложны в получении ориентиров [7, 9].

Далее вычисляется оптический центр радиального искажения и формируется исправленное изображения.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В перспективной фазе исследования предполагается разработка авторского алгоритма, основанного на одном из методов. Техническая сложность данного этапа связана с необходимостью обработки высокого объема данных в режиме реального времени. Для достижения данной цели необходимо учесть ограничения, налагаемые на параметры оптических систем, а также разработать оптимальный алгоритм, обеспечивающий поддержание частоты кадров не менее 30 кадров в секунду для разрешения Full HD.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Edge detection based mobile robot indoor localization / Oleg Shipitko [и др.] // Institute for Information Transmission Problems – 2018.
- [2] Кунина И. А., Модели и алгоритмы калибровки радиальной дисторсии камеры по особенностям Хаф-спектра изображений при неконтролируемой съемке // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук (2020).
- [3] Родионов С.А. Основы оптики. Конспект лекций.– СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2000. - 167 с.
- [4] Nghia T. Vo, Robert C. Atwood, and Michael Drakopoulos. Radial lens distortion correction with sub-pixel accuracy for x-ray microtomography. *Opt. Express*, 23(25):32859–32868, Dec 2015. URL: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=oe-23-25-32859>, doi:10.1364/OE.23.032859.
- [5] T. A. Clarke and J. G. Fryer. The development of camera calibration methods and models. *The Photogrammetric Record*, 16(91):51–66, 1998. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/0031-868X.00113>, doi:10.1111/0031-868X.00113

- [6] Carlos Ricolfe-Viala and Antonio-Jose Sanchez-Salmeron. Lens distortion models evaluation. *Appl. Opt.*, 49(30):5914–5928, Oct 2010. URL: <http://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?URI=ao-49-30-5914>, doi:10.1364/AO.49.005914
- [7] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman. A plane measuring device. *Image and Vision Computing*, 17(8):625–634, 1999. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885698001838>, doi:[https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(98\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(98)00183-8)
- [8] Nghia T. Vo. Python implementation of distortion correction methods for x-ray tomography. *zenodo.org*, 2018. URL: https://zenodo.org/record/1322720#.YV7_k9rTVaQ, doi:10.5281/zenodo.1322720.
- [9] Donald G. Bailey. A new approach to lens distortion correction. *Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand Conference*, pages 59–64, 2002. URL: https://www-ist.massey.ac.nz/dbailey/sprg/pdfs/2002_IVCNZ_59.pdf.

Investigation of methods for correcting geometric distortion in a video

S. E. Myasnikov, K.V.Ezhova

Abstract — the article discusses the existing methods of correcting radial distortion for video images.

In the modern world, visual data plays a key role in various fields, including medicine, the automotive industry, computer vision, artificial intelligence, and many others. However, when images are obtained, distortions occur, which can seriously affect the accuracy and reliability of data analysis. One of the most common types of distortion is image distortion – distortion of the geometric shapes of objects in the image due to imperfections of optical systems or distortion during data transmission.

The study of image distortion correction methods is an urgent and important task in the field of computer vision and image processing. Effective methods of distortion correction allow you to improve the quality of images, while maintaining important geometric characteristics of objects on them. The exact correction of radial distortion is important especially for many optical recognition tasks, primarily because distortion distorts straight lines, and many algorithms for selecting and analyzing objects are built on the detection of rectilinear segments.

At the same time, for processing a video stream with aberrations, several strict requirements are imposed both at the hardware level and at the software implementation level. For video surveillance cameras, such requirements are their technical characteristics, which should provide a sufficiently high quality of the transmitted video stream for the tasks of subsequent recognition of objects on it. For software, this is the required speed for real-time operation and the required accuracy of algorithms.

In this paper, an in-depth analysis of existing methods of distortion correction is carried out, their applicability and acceptable parameters of optical systems with parameters of the output video image are investigated.

The first section discusses the concept of radial distortion and its types. The second section presents the main approaches to correcting radial distortion. The third section contains a

description of the concept of the system being developed and the prospects for its further development within the framework of research work.

Keywords — correction of geometric distortions in the video image, computer vision, radial distortion.

REFERENCES

- [1] Edge detection based mobile robot indoor localization / Oleg Shipitko [и др.] // Institute for Information Transmission Problems – 2018.
- [2] Kunina I. A., Models and algorithms for calibration of the radial distortion of the camera according to the features of the Half-spectrum of images in uncontrolled shooting // Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (2020).
- [3] Rodionov S.A. Fundamentals of optics. Lecture notes.– St. Petersburg: SPb GITMO (TU), 2000. - 167 p.
- [4] Nghia T. Vo, Robert C. Atwood, and Michael Drakopoulos. Radial lens distortion correction with sub-pixel accuracy for x-ray microtomography. *Opt. Express*, 23(25):32859–32868, Dec 2015. URL: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=oe-23-25-32859>, doi:10.1364/OE.23.032859.
- [5] T. A. Clarke and J. G. Fryer. The development of camera calibration methods and models. *The Photogrammetric Record*, 16(91):51–66, 1998. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/0031-868X.00113>, doi:10.1111/0031-868X.00113
- [6] Carlos Ricolfe-Viala and Antonio-Jose Sanchez-Salmeron. Lens distortion models evaluation. *Appl. Opt.*, 49(30):5914–5928, Oct 2010. URL: <http://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?URI=ao-49-30-5914>, doi:10.1364/AO.49.005914
- [7] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman. A plane measuring device. *Image and Vision Computing*, 17(8):625–634, 1999. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026288569801838>, doi:[https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(98\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(98)00183-8)
- [8] Nghia T. Vo. Python implementation of distortion correction methods for x-ray tomography. *zenodo.org*, 2018. URL: https://zenodo.org/record/1322720#.YV7_k9rTVaQ, doi:10.5281/zenodo.1322720.
- [9] Donald G. Bailey. A new approach to lens distortion correction. *Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand Conference*, pages 59–64, 2002. URL: https://www-ist.massey.ac.nz/dbailey/sprg/pdfs/2002_IVCNZ_59.pdf.