

УДК 004

***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СШИТОГО
ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР***

Аникина Н.А.

*ассистент кафедры информационных систем и технологий,
Поволжский Государственный Университет Телекоммуникаций и
Информатики,
Россия, г. Самара.*

Аннотация. Статья посвящена исследованию процесса формирования сшитого изображения от нескольких телевизионных камер, с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. В статье прорабатывается гипотеза об организации нового способа видеонаблюдения на объектах, для этого разработана модель телевизионной системы со сверхширокоугольными объективами. Для обоснованного выбора метода формирования сшитого изображения было проведено экспериментальное исследование двух наиболее распространённых методов: с использованием ArUco маркера и с использованием алгоритма SIFT.

Ключевые слова: Компьютерное зрение, сшивка изображений, калибровка, радиальные искажения, ArUco маркер, алгоритм SIFT, сверхширокоугольный объектив, Fisheye, телевизионная система, OpenCV.

***INVESTIGATION OF THE FORMATION OF A CROSS-LINKED IMAGE
FROM SEVERAL TELEVISION CAMERAS***

Anikina N.A.

*Assistant of the Department of Information Systems and Technologies,
Volga State University of Telecommunications and Informatics,
Russia, Samara.*

Annotation. The article is devoted to the study of the process of forming a cross-linked image from several television cameras using the OpenCV computer vision library. The article studies a hypothesis about the organization of a new method of video surveillance at facilities, for this purpose a model of a television system with ultra-wide-angle lenses has been developed. To make a reasonable choice of the method of forming a stitched image, an experimental study of two of the most common methods was carried out: using an ArUco marker and using the SIFT algorithm.

Keywords: Computer vision, image stitching, calibration, radial distortion, ArUco marker, SIFT algorithm, ultra-wide angle lens, Fisheye, television system, OpenCV.

Современный ритм жизни требует интеграции новых технологических решений и высокой квалификации специалистов в различных сферах.

В существующих системах видеонаблюдения на открытых площадках, в помещениях и по периметру объекта применяются камеры с углом зрения до 90° и направленные вдоль плоскости земли, что не позволяет точно оценить расстояние до объектов и размещение объектов на его плане. Для решения этих задач была предложена гипотеза по использованию камер со сверхширокоугольными объективами, направленными перпендикулярно поверхности земли с последующей обработкой изображений.

Использовать обычные камеры в этом случае не получится, они достаточно узкоугольные, т.е. максимальный угол обзора у них не превышает 90 градусов.

Если их размещать и с их помощью смотреть на землю, то можно будет взять только небольшой участок земли. Следовательно, есть необходимость использовать больше камер по периметру объекта, что не является экономически выгодным.

Поэтому для данной задачи эффективнее использовать камеры со

сверхширокоугольными объективами (рис. 1):

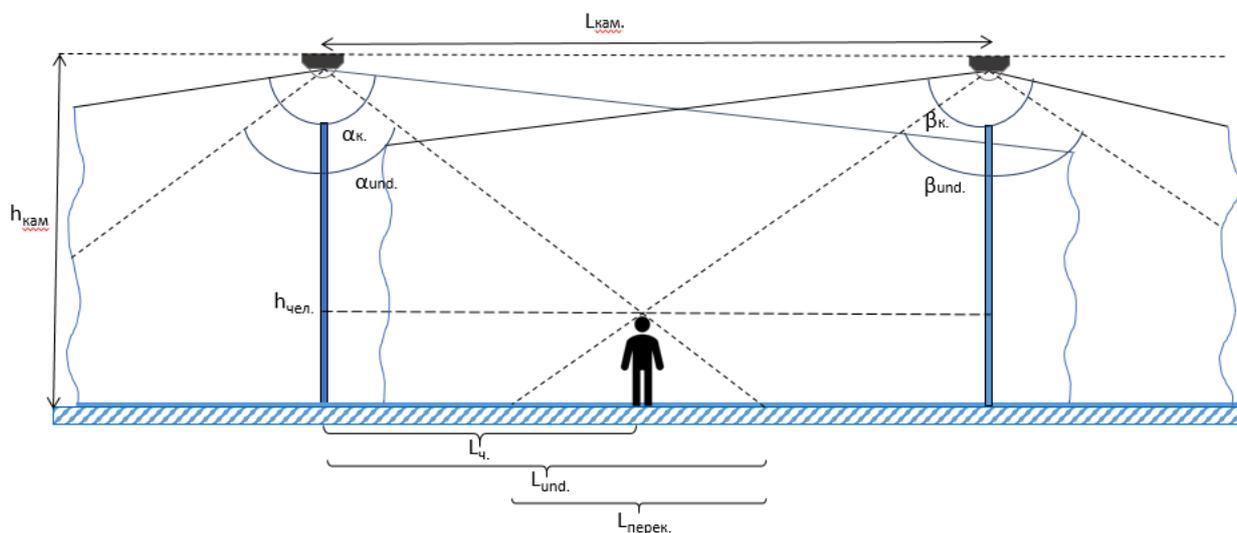


Рис. 1 – Модель телевизионной системы со сверхширокоугольными объективами

Примечание – авторская разработка.

Используя камеры со сверхширокоугольными объективами, мы сможем взять участок земли больше, так как их угол обзора – 180 градусов, но у них есть и недостатки – большие радиальные искажения. Чтобы можно было её использовать, необходимо выполнить процедуру устранения искажений, после чего угол обзора уменьшится, но он всё равно будет больше, чем у обычной камеры.

Если несколько таких камер разместить на одной плоскости, с перекрытием зон обзора, то мы сможем изображения с этих камер наложить на план объекта или сформировать единое изображение всей поверхности территории объекта.

Данную модель можно использовать при охране периметра объекта или пространств внутри больших закрытых объектов, например, в ангарах. Модель не предназначена для использования в низких и узких, закрытых помещениях. Эффективнее её использование на открытом пространстве, без множественных объектов.

Далее приведём расчёт параметров модели, который позволит оценить высоту установки и расстояние между камерами при условии перекрытия изображений с камер.

Для проверки модели были использованы две камеры:

- HIKVISION DS-2CD2955FWD-I;
- BEWARD SV6020FLM.

По каждой камере был измерен угол обзора после процедуры устранения искажения:

$$\alpha_{und} = 124^\circ,$$

$$\beta_{und} = 116^\circ.$$

Расчёты проводились по следующим формулам:

$$L_{und} = h_{\text{кам}} * \tan \frac{\alpha_{und}}{2}, \quad (1)$$

где:

L_{und} – половина длины области обзора камеры после устранения искажений (см. рис. 1);

$h_{\text{кам}}$ – высота установки камеры;

α_{und} – угол обзора камеры после устранения искажений.

$$L_{\text{ч}} = (h_{\text{кам}} - h_{\text{чел}}) * \tan \frac{\alpha_{und}}{2}, \quad (2)$$

где:

$L_{\text{ч}}$ – расстояние от оптической оси объектива камеры до объекта;

$h_{\text{чел}}$ – высота объекта.

$$(h_{\text{кам}} - h_{\text{чел}}) = \frac{L_{\text{ч}}}{\tan \frac{\alpha_{und}}{2}} \Rightarrow h_{\text{чел}} = h_{\text{кам}} - \frac{L_{\text{ч}}}{\tan \frac{\alpha_{und}}{2}}. \quad (3)$$

$$L_{\text{кам}} = L_{\text{ч1}} + L_{\text{ч2}}, \quad (4)$$

где:

$L_{\text{кам}}$ – расстояние между размещаемыми камерами.

$$L_{\text{перек}} = \sum(L_{und} - L_{\text{ч}_i}), \quad (5)$$

где:

$L_{перек}$ – область перекрытия двух размещаемых камер.

В качестве размера объекта, находящегося в области перекрытия, был взят средний рост человека – $h_{чел} = 1.8$ м.

Результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчёта параметров телевизионной системы

$h_{кам.}$	$L_{ч1}$	$L_{ч2}$	$L_{кам.}$	$L_{перек.}$
6 м	7,89 м	6,72 м	14,6 м	6,27 м
7 м	9,78 м	8,32 м	18,1 м	6,26 м
8 м	11,66 м	9,92 м	21,58 м	6,26 м

По результатам расчёта видно, что в случае размещения камеры на высоте 6 метров, расстояние между камерами с учётом области перекрытия и высоты объекта равной 1,8 м. составит 14,6 метра. Если высота установки камеры – 8 метров, то расстояние между камерами составит 21,58 метров.

Соответственно, чем больше высота, на которой установлены камеры, тем дальше друг от друга их можно размещать.

Так как для экспериментального исследования нет возможности разместить камеры на данных высотах, камеры были размещены на высоте 2,7 метров с пропорционально уменьшенной высотой объекта равной 0,7 м.

По расчётам, можно сказать, что при высоте размещаемых камер 2,7 м. для видимости объекта 0,7 м. в области перекрытия, получаем расстояние между камерами 6,96 м. и область перекрытия 2,44 м. Эти данные использовались для экспериментального исследования по формированию сшитого изображения.

Сшивка изображений — это процесс объединения нескольких фотографических изображений с перекрывающимися полями зрения для создания сегментированной панорамы или изображения с высоким разрешением [2].

Существует большое количество подходов к сшивке изображений, которые используются для создания панорамных фотографий или изображений высокого разрешения. Экспериментальное исследование проводилось методами сопоставления ключевых точек с использованием ArUco маркера и с использованием алгоритма SIFT.

Общий алгоритм формирования сшитого изображения состоит из следующих этапов:

1. Калибровка камер.
2. Устранение радиальных искажений на изображениях.
3. Выделение ключевых точек.
4. Определение параметров геометрических преобразований одного из изображений.
5. Выполнение геометрических преобразований одного из изображений.
6. Поиск размеров результирующего изображения (создание подложки).
7. Наложение обоих изображений на результирующую подложку.

Калибровка камер производилась распространённым методом — по шаблону (шахматная доска). Результаты калибровки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Внутренние параметры камеры, полученные в результате калибровки камер

Название камеры	Матрица калибровка (K)	Коэффициенты дисторсии	Ошибка ret
Камера 1: HIKVISION DS- 2CD2955FWD-I	[[6.6139e+02 0 1.2785e+03] [0 6.6051e+02 9.3892e+02] [0 0 1]]	k1 = -0.0307 k2 = 0.0192 k3 = -0.0116 k4 = 0.0018	0.5282 px

Камера 2: BEWARD SV6020FLM	[[1.1369e+03 0 1.9995e+03] [0 1.1411e+03 1.4995e+02] [0 0 1]]	k1 = -0.0396 k2 = 0.0010 k3 = -0.0060 k4 = 0.0024	0.5911 px
----------------------------------	---	--	--------------

Критерием оценки точности калибровки является среднеквадратичная ошибка перепроецирования (ret), которая для хорошей калибровки должна находиться в пределах от 0.1 до 1.0. Ошибка, равная 1.0, означает, что в среднем каждая из проецируемых точек, после устранения искажений, находится на расстоянии 1 пикселя от своего фактического положения [5].

Полученные, в результате калибровки, параметры камеры можно применять для восстановления или улучшения изображений, а также для геометрических коррекций, совмещения или наложения изображений.

Результат устранения радиальных искажений, с помощью полученных при калибровке внутренних параметров камеры показан на рисунках 2 и 3.

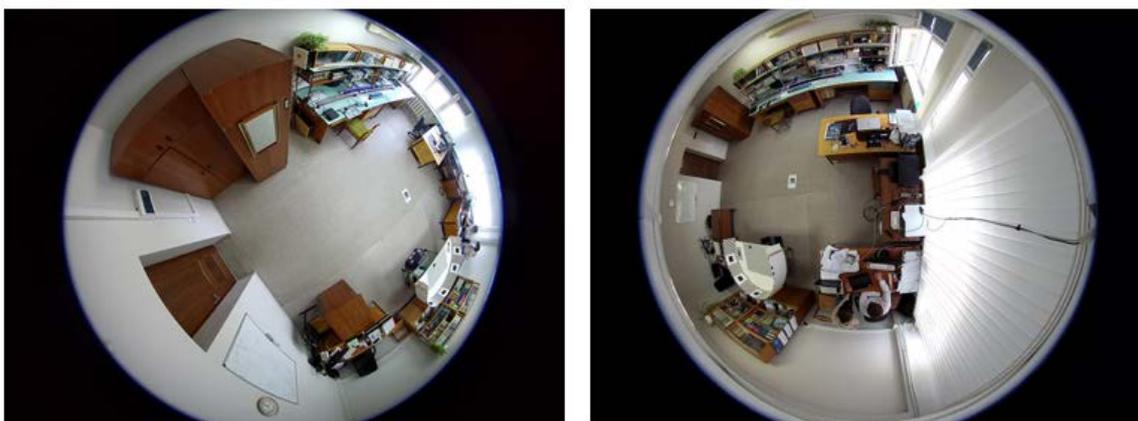


Рис. 2 – Изображения AgUco маркера с двух камер

Примечание – авторская разработка.



Рис. 3 – Изображения с двух камер после устранения искажений

Примечание – авторская разработка.

Для формирования сшитого изображения с помощью ArUco маркера в среде программирования производится поиск маркера, который имеется на изображениях. После идентификации маркеров производится поиск матрицы преобразования перспективы между маркером на изображении, снятом на первую камеру и маркером на изображении, снятом на вторую камеру.

Далее выполняется перспективное преобразование изображения, снятого на вторую камеру, с помощью полученной матрицы преобразования. И производится поиск размеров результирующего изображения (создание подложки), после чего на созданной подложке сшиваются изображения (рис. 4).

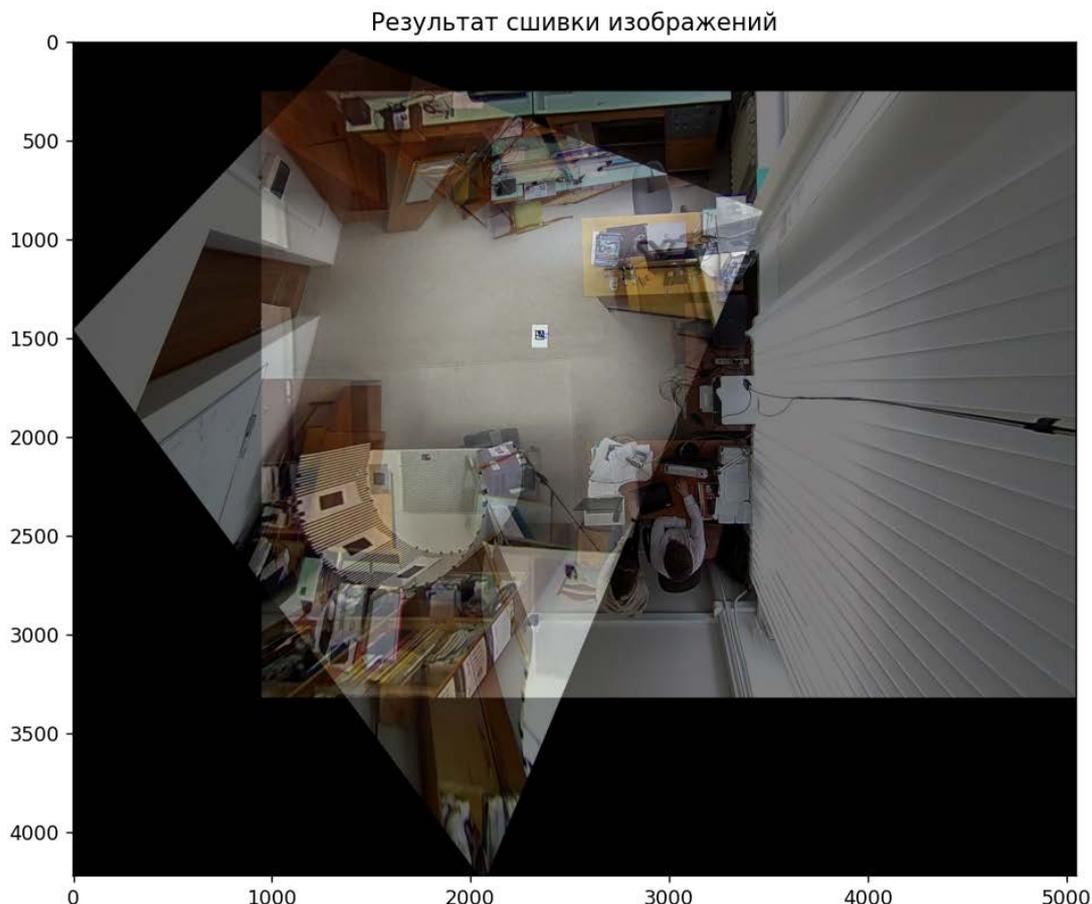


Рис. 4 – Результат сшивки изображений, с помощью AgUso маркера

Примечание – авторская разработка.

Метод SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) – это алгоритм компьютерного зрения, который используется для обнаружения и описания локальных особенностей изображений. Этот метод широко применяется в различных задачах компьютерного зрения, включая сшивку изображений [5].

После создания изображений с объектом (рис. 5) и устранения искажений на изображениях (рис. 6), в среде программирования создаётся детектор ключевых точек, с помощью алгоритма SIFT и происходит поиск ключевых точек и вычисление дескрипторов на обоих изображениях.



Рис. 5 – Изображения с двух камер с объектом для сшивки алгоритмом SIFT
Примечание – авторская разработка.



Рис. 6 – Изображения с двух камер с объектом после устранения искажений
Примечание – авторская разработка.

Затем необходимо сопоставить (вычислить расстояние) дескрипторы первого изображения с дескрипторами второго и взять ближайший. Для этого создаётся BFMatcher объект. Совпадения сортируются по расстоянию и выбираются лучшие. После чего извлекаются координаты ключевых точек для лучших совпадений, вычисляется матрица гомографии. Заключительным шагом производится создание панорамы, с помощью найденной ранее матрицы гомографии.

Результат найденных совпадения ключевых точек представлен на рисунке

7.



Рис. 7 – Изображения с объектом с найденными совпадениями

Примечание – авторская разработка.

Так как объекты находятся под разными углами, из-за большого расстояния друг от друга, совпадения, которые были найдены алгоритмом SIFT на обоих изображениях – не совпадают. Соответственно, невозможно сшить данные изображения.

По результатам проверки методов сшивки изображений можно сделать следующие выводы:

- наилучшие результаты сшивки получились при использовании ArUco-маркера, что объясняется однозначным определением углов ArUco-маркера на совмещаемых изображениях;
- алгоритм SIFT не смог найти совпадений ключевых точек на совмещаемых изображениях из-за различий их дескрипторов на изображениях, полученных от камер под разными углами зрения;
- нахождение объектов в области перекрытия приводит к получению артефактов на совмещенном изображении из-за различных углов наблюдения на одни и те же объекты.

Разработанный алгоритм формирования сшитого изображения от нескольких телевизионных камер может найти применение в системах видеонаблюдения, в которых могут быть использованы различные модели камер и объективов к ним, при этом алгоритм универсален, для работы потребуется предварительно провести несложную процедуру калибровки. Кроме того, алгоритм может найти применение в различных сферах робототехники, где важен широкий угол обзора, но при этом есть необходимость устранения дисторсии, свойственной камерам.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- предложенная гипотеза может быть реализована на практике с рядом ограничений;
- предложенная модель может быть использована на открытом пространстве при отсутствии объёмных объектов;
- если увеличивать высоту размещаемых камер и уменьшать расстояние между камерами, то визуально сшитое изображение будет восприниматься более правильно.

Поскольку целью системы является не идентификация объектов, а отслеживание их перемещений, то для дальнейших исследований можно предложить формирование 3D-поверхности с привязкой значений пикселей с камер к элементам этой поверхности. В этом случае каждый перемещающийся объект на 3D-поверхности территории будет обозначен группой точек.

Для формирования такой 3D-поверхности необходимо дополнительное оборудование в виде LiDAR-камер или стереокамер, например. При исследовании данного оборудования не было, так как оно достаточно дорогостоящее.

Библиографический список

1. Аникина, Н.А. Геометрическое моделирование сверхширокоугольных

оптических систем [Текст] / Н.А. Аникина // Ростовский научный вестник – 2023 – № 5. – С. 144-148.

2. Карпенко, С. М. Метод восстановления изображений, подверженных радиальной дисторсии [Текст] / С. М. Карпенко, С. А. Гладилин, Д. П. Николаев – М.: Сборник трудов конференции Информационные технологии и системы, 2008 – С. 505.

3. Кульчицкий, А.А. Исследование моделей калибровки камер технического зрения для программной компенсации искажений в системах контроля геометрических параметров объектов [Текст] / Кульчицкий, А.А., Абакумов, И.И. – М.: Инновационная Наука, 2015 – №10 – С. 190.

4. Мартемьянов, Б.В. Оценка качества алгоритма сшивки изображений, основанного на методе функционализации [Текст] / Б. В. Мартемьянов – Самара: Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». – № 3 (25), 2009 – С. 88-95.

5. Никитин, К.А. Исследование процесса калибровки камеры [Текст] / К.А. Никитин, Н.А. Аникина // Дневник науки. – 2022. – № 12 (72). – С. 1-10.

Оригинальность 83%