

ПОВЫШЕНИЕ КОНТРАСТА И ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕРЕСА НА ОРТОФОТОПЛАНАХ МЕСТНОСТИ, ПОСТРОЕННЫХ ПО ИСКАЖЕННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В статье рассматриваются и сравниваются методики устранения искажений на исходных изображениях с беспилотного летательного аппарата, целью которых является увеличение контраста и точности определения координат объектов интереса относительно фона. Проведены авиационные работы с целью получения исходных изображений подстилающей поверхности с различными временами экспозиции, а также данных с навигационного модуля беспилотного летательного аппарата. Осуществлена камеральная обработка полученных материалов, рассчитаны точные центры фотографирования каждого из изображений и построены ортофотопланы местности. Оценен контраст и точность определения координат объектов интереса относительно фона на ортофотопланах местности, построенных по исходным и восстановленным различными методами изображениям.

Ключевые слова: ортофотоплан местности, изображение, точность, контраст, объект интереса, искажение, беспилотный летательный аппарат.

Введение. В данной работе под контрастом понимается — относительный контраст. То есть контраст, который отражает степень различия между темным и светлым элементами изображения. Проблема низкого контраста объектов интереса на ортофотопланах местности возникает в том случае, когда беспилотный летательный аппарат (БПЛА) совершает полет на низкой высоте и высокой скорости либо при съемке в условиях недостаточной освещенности сцены. На изображениях возникает искажение — смаз, который уменьшает контраст объектов интереса на ортофотопланах. Это приводит к тому, что дешифрирование объектов интереса и их локализация становятся проблематичными. В связи с этим проблема повышения контраста на изображениях, полученных с БПЛА, в ряде случаев является весьма актуальной.

Получение исходных данных. Для получения исходных изображений с БПЛА и результатов спутниковых измерений был выбран участок местности с нанесенной дорожной разметкой, которая была

Таблица 1

Основные параметры полетного задания

Параметр	Значение параметра
Высота полета, м	100
Скорость полета, м/с	9
Продольное перекрытие изображений	80 %
Поперечное перекрытие изображений	70 %
Экспозиция, с	1/640, 1/400, 1/320, 1/240, 1/160, 1/100, 1/80, 1/60, 1/50, 1/25, 1/10, 1/5, 1/2

использована в качестве объекта интереса, так как она обладает большим контрастом по отношению к фону (асфальту). Перед проведением авиационных работ были точно определены координаты

Ошибка определения координат в контрольных точках в зависимости от времени экспозиции

Значение экспозиции, с	1/640	1/320	1/160	1/80	1/25	1/10	1/5	1/2
Ошибка, см	5,3	6,65	6,9	7,8	12,38	25,1	54,63	129,2



Рис. 1. Объекты интереса при различных временах экспозиции: а) 1/25 с; б) 1/10 с; в) 1/5 с; г) 1/2 с

Таблица 3

Априорные данные

Параметр	Значение
Высота полета, м	100
Скорость полета, м/с	9
Размер кадра, пиксели	3648×5472
Фокусное расстояние, мм	8,8 мм/24 мм (эквивалент 35 мм)
Физический размер матрицы, мм	13,2×8,8
Угол обзора, градусы	84°

краев и углов разметки с использованием высокоточного геодезического прибора, который имеет действующую метрологическую поверку [1]. Всего были определены координаты восьми контрольных точек. Затем было составлено полетное задание (табл. 1). Высота полета, скорость и перекрытие снимков оставались неизменными, а время экспозиции изменялось от 1/640 с до 1/2 с.

В ходе выполнения полетного задания было получено 13 видеорядов, показывающих исследуемую местность. Каждый видеоряд состоит из изображений, снятых с различными временами экспозиции.

Камеральная обработка. После анализа материалов аэрофотосъемки в ходе камеральной обработки было получено 13 ортофотопланов местности. Обработка материалов производилась по методике, описанной в [2, 3]. Ошибка определения координат в контрольных точках на ортофотоплане была оценена по сравнению с результатами инструментальных измерений и представлена в табл. 2.

Из табл. 2 можно сделать вывод, что ошибка определения координат в контрольных точках превышает 10 см при экспозиции 1/25 с. Эта ошибка является критической при использовании ортофотопланов местности масштаба 1:500, которые долж-

ны быть более точными и иметь высокое разрешение.

На рис. 1 приведены изображения объектов интереса при различных временах экспозиции.

Моделирование ФРТ. Для повышения контраста на изображениях необходимо определить функцию рассеяния точки (ФРТ). В настоящее время БПЛА оснащены инерциальной системой и выполняют полет по заранее запланированному маршруту. Обычно их движение прямолинейное и равномерное. В результате этого мы можем заранее знать некоторую информацию о характере ФРТ.

Исходя из этого, ФРТ представляет собой след, оставленный малоразмерным объектом на изображении. Размер этого следа равен расстоянию, пройденному БПЛА за время экспонирования камеры, то есть за время экспозиции, выраженное в пикселях [4, 5].

В табл. 3 представлены априорные данные о полете БПЛА и параметры сенсора камеры, необходимые для вычисления размера и направления ФРТ.

Зная параметры сенсора камеры, фокусное расстояние и высоту полета БПЛА в момент создания изображения, мы можем вычислить размер пиксела на местности. Так, при высоте полета 100 м размер пиксела на местности равен 2,7 см. Зная скорость полета и время экспозиции, вычисляем расстояние в пикселях, пройденное БПЛА за время экспонирования матрицы. В табл. 4 представлены результаты вычислений.

По результатам анализа (табл. 4) можно сделать вывод, что существенное расстояние (13 пикселей) БПЛА проходит начиная со времени экспозиции 1/25 с и более. Учитывая направление движения БПЛА, ФРТ можно представить в виде линии, совпадающей с направлением полета.

Повышение контраста на искусственно искаженных изображениях. Получив ФРТ, мы искусственно исказили несмазанные изображения исследуемого полигона, которые были получены при времени экспозиции 1/640 с. Затем по этим изображениям был построен ортофотоплан местности.

Таблица 4

Результат вычисления расстояния, пройденного БПЛА за время срабатывания затвора камеры

Время экспонирования, с	1/640	1/320	1/160	1/80	1/25	1/10	1/5	1/2
Пройденное БПЛА расстояние, пиксели	0,41	1,02	2,08	4,16	13,33	33,33	66,67	166,67

Сравнительная характеристика двух профилей

Характеристика	Неискаженное (1/640 с)	Искусственно искаженное (1/25 с)
СКО определения координат в контрольных точках, см	5,3	10,4
Контраст яркости объекта интереса по отношению к СКО яркости фона	11,2	4,78
Размер смаза, пиксели	0,41	13,3



Рис. 2. Изображение объекта интереса с искусственным смазом с временем экспозиции 1/25 с

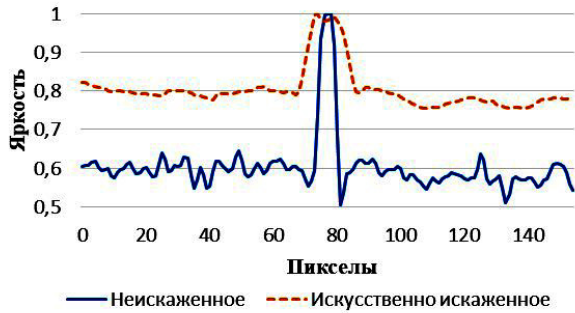


Рис. 3. Профиль яркости объекта интереса относительной яркости фона исходного и искусственно искаженного изображений

Установлено, что заданная ФРТ соответствует экспозиции 1/25 с. На рис. 2 представлено изображение объекта интереса на полученном ортофотооплаке местности с линией выбора строки для анализа профиля яркости.

На рис. 3 приведен нормированный профиль относительной яркости объекта интереса исходного и искусственно искаженного изображений.

В табл. 5 представлены сравнительные характеристики двух профилей яркости.

Общая ошибка определения координат в контрольных точках составила 10,4 см, что примерно

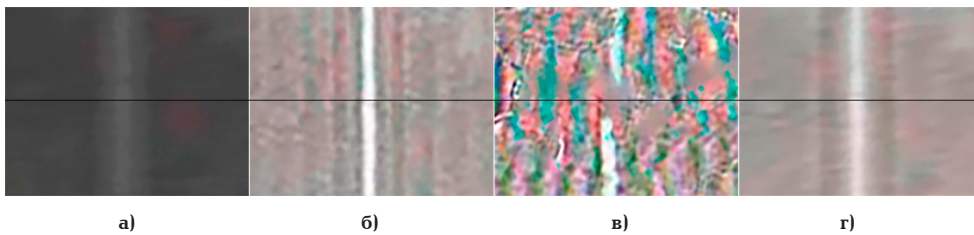


Рис. 4. Результат восстановления различными методами: а) винеровская фильтрация; б) фильтрация Люси-Ричардсона; в) фильтрация Тихонова; г) слепая деконволюция

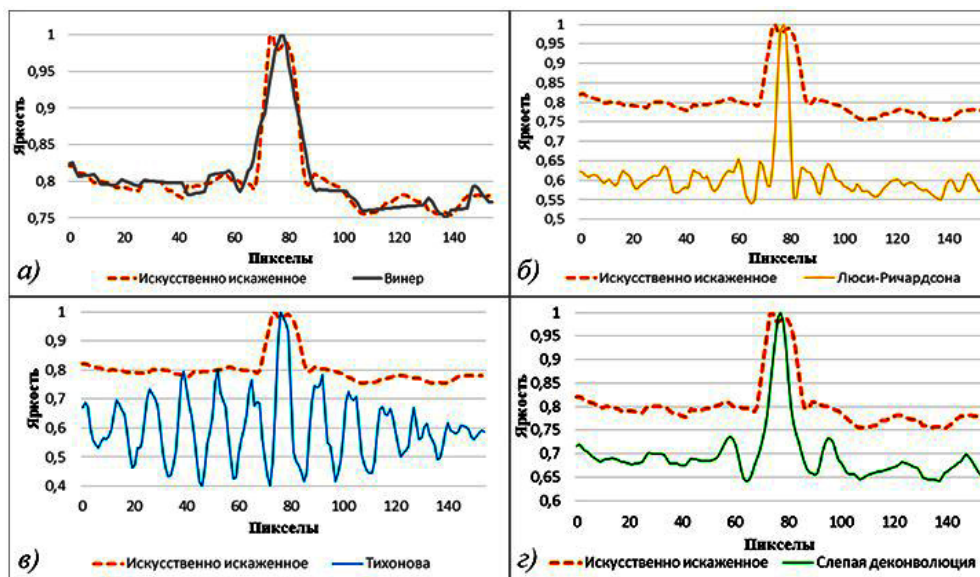


Рис. 5. Профили яркости объекта интереса после восстановления: а) винеровская фильтрация; б) фильтрация Люси-Ричардсона; в) фильтрация Тихонова; г) слепая деконволюция

Сравнительная характеристика профилей яркости искусственно искаженного и восстановленных изображений различными методами

Характеристика	Искусственно искаженное	Винер	Люси – Ричардсон	Тихонов	Слепая деконволюция
СКО определения координат в контрольных точках, см	10,4	5,2	5,9	5,7	4,6
Контраст яркости объекта интереса по отношению к СКО яркости фона	11,2	6,37	10,27	3,53	10,33
СКО яркости фона	3,19	1,7	5,77	23,8	4,7

равно ошибке их определения в контрольных точках на изображениях с выдержкой 1/25 с.

Для уменьшения смаза на искусственно искаженных изображениях и улучшения точности определения координат в контрольных точках каждое исходное изображение подверглось обработке с использованием известных методов устранения смаза и повышения контраста в изображениях.

Винеровский фильтр [6] характеризуется тем, что при восстановлении изображения сглаживается.

На рис. 4а приведен объект интереса на ортофотоплане местности, построенном по изображениям, восстановленным фильтром Винера с линией выбора строки для анализа профиля яркости.

На рис. 5а представлен профиль яркости объекта интереса относительно яркости фона искусственно искаженного изображения и восстановленного фильтром Винера.

Из графика видно, что пик стал более острым, а фон и линия более сглаженными.

В табл. 6 представлены сравнительные характеристики двух профилей.

Из табл. 6 видно, что восстановление смазанных изображений по Винеру с использованием априорной информации о ФРТ уменьшает ошибку координат на контрольных точках в два раза.

Фильтр Люси–Ричардсона является итеративным [7]. По этой причине следует выяснить не только априорную информацию о ФРТ, но и выбрать оптимальное количество итераций.

В ходе моделирования были восстановлены одиночные изображения, в которых использовалось разное количество итераций (от 1 до 44). В результате анализа полученных изображений выяснилось, что оптимальным количеством итераций для фильтра Люси – Ричардсона является значение 20. Если применять большее количество итераций, смаз на изображении остается неизменным, а вместо этого начинают преобладать артефакты на изображении. На рис. 4б приведен объект интереса на ортофотоплане местности, построенном по изображениям, восстановленным фильтром Люси – Ричардсона с априорной информацией о ФРТ при 20 итерациях. Показана линия выбора строки для анализа профиля яркости.

На рис. 5б представлен профиль яркости объекта интереса относительно яркости фона искусственно искаженного изображения и изображения, восстановленного фильтром Люси – Ричардсона.

Из рис. 5б видно, что контраст яркости объекта интереса и яркости фона заметно увеличился. Наряду с этим отчетливо наблюдается значительное увеличение артефактов на изображении.

В табл. 6 представлены сравнительные характеристики двух профилей.

Восстановление изображения фильтром Люси – Ричардсона уменьшило ошибку определения координат в контрольных точках в 1,76 раза.

Фильтрация по методу Тихонова. Характеризуется резким увеличением артефактов на изображении [8]. На рис. 5в приведен объект интереса на ортофотоплане местности, построенном по изображениям, восстановленным фильтром Тихонова с использованием априорной информации о ФРТ. Показана линия выбора строки для анализа профиля яркости.

Из рис. 4в видно, что артефакты на изображении достигают критических значений, что делает процесс дешифровки объектов затруднительным.

На рис. 5в представлен профиль яркости объекта интереса относительно яркости фона искусственно искаженного изображения и изображения, восстановленного фильтром Тихонова.

В табл. 6 представлена сравнительная характеристика двух профилей.

Применение фильтрации Тихонова для каждого смазанного изображения видеоряда привело к уменьшению ошибки координат в контрольных точках в 1,83 раза. Однако СКО яркости фона достигло 23,8, что отражает большое количество артефактов на восстановленном изображении.

Метод слепой деконволюции. Как и метод Люси – Ричардсона, является итеративным, поэтому необходимо подобрать оптимальное количество итераций [9, 10]. После восстановления одиночного изображения по известной ФРТ с количеством итераций от 1 до 14 выяснилось, что наиболее оптимальный результат получается при количестве итераций, равном 6. На рис. 4г приведен объект интереса на ортофотоплане местности, построенный по изображениям, восстановленным методом слепой деконволюции с априорной информацией о ФРТ и количеством итераций, равным 6. Показана линия выбора строки для анализа профиля яркости.

Результат восстановления по методу слепой деконволюции похож на результат винеровской фильтрации, но, в отличие от него, объекты интереса имеют более выраженный контраст по отношению к фону.

На рис. 5г представлен профиль яркости объекта интереса относительно яркости фона искусственно искаженного изображения и изображения, восстановленного методом слепой деконволюции.

В табл. 6 представлены сравнительные характеристики двух профилей яркости.



Рис. 6. Изображение объекта интереса на ортофотоплане местности по реальным снимкам

Применение метода слепой деконволюции для каждого смазанного изображения видеоряда привело к уменьшению ошибки координат в контрольных точках в 2,26 раза. СКО яркости фона достигло 4,7, что говорит о низком уровне артефактов на изображении. По своим характеристикам результат получился близким к фильтрации по методу Винера.

Наибольший контраст яркости объекта интереса по отношению к СКО яркости фона наблюдается у изображений, восстановленных по методу Люси – Ричардсона (10,27) и слепой деконволюции (10,33).

Обработка реальных искаженных изображений. Для обработки реальных изображений со смазом выбраны изображения, полученные при значении экспозиции 1/25 с. Такой выбор обусловлен тем, что ранее использовались искусственно искаженные изображения с ФРТ, которая соответствует смазу 1/25 с. Соответственно, сравнение полученных результатов будет более адекватным.

На рис. 6 представлено изображение объекта интереса из ортофотоплана местности, построенного по реальным изображениям со смазом и линией выбора строки для анализа профиля яркости.

Как и ранее, каждое исходное изображение восстанавливалось четырьмя различными методами.

На рис. 7 представлены изображения объектов интереса из ортофотопланов местности, построенных по изображениям, восстановленным различными методами.

В табл. 7 представлены сравнительные характеристики профилей яркости реального и восстановленных изображений различными методами.

Из табл. 7 следует, что наименьшая ошибка определения координат в контрольных точках наблюдается при фильтрации алгоритмом Люси – Ричардсона и равняется 5,11 см вместо 12,38 см на исходном изображении.

Наибольший контраст яркости объекта интереса по отношению к СКО яркости фона наблюдается при фильтрации методом слепой деконволюции и равен 21,1 вместо 10,51 у исходного. Наибольшее СКО яркости фона достигается при фильтрации по методу Тихонова, что говорит о наличии ярко выраженных артефактов на восстановленных изображениях.

Закключение. Была проведена обработка искаженных изображений с целью увеличения контраста объектов интереса и повышения точности определения их географических координат. Результаты обработки искусственно искаженных и реальных изображений с БПЛА согласуются между собой. Представленные методы предобработки реальных изображений с БПЛА повысили их качество по критерию повышения контраста и точности локализации (определения координат) объектов интереса. Наилучший результат по точности определения координат объектов интереса показала обработка реальных искаженных изображений фильтром Люси – Ричардсона (ошибка определения координат в контрольных точках уменьшилась с 12,38 см до 5,11 см), а наибольший контраст получен после предобработки изображений по методу слепой деконволюции (с 10,51 до 21,1). Работа имеет практическую значимость для обработки и анализа данных, полученных с БПЛА, и может быть использована в различных областях, таких как геодезия, картография и экология.

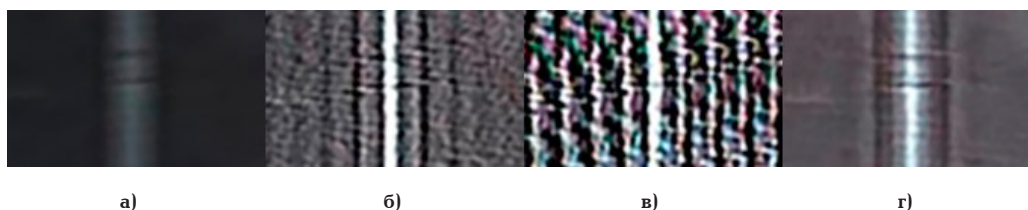


Рис. 7. Изображения объекта интереса на восстановленных ортофотопланах местности: а) винеровская фильтрация; б) фильтрация Люси – Ричардсона; в) фильтрация Тихонова; г) слепая деконволюция

Таблица 7

Сравнительная характеристика профилей яркости реального и восстановленных изображений различными методами

Характеристика	Реальные изображения	Винер	Люси – Ричардсон	Тихонов	Слепая деконволюция
СКО определения координат в контрольных точках, см	12,38	7,18	5,11	9,1	5,99
Контраст яркости объекта интереса по отношению к СКО яркости фона	10,51	13,8	4,5	1,44	21,1
СКО яркости фона	2,78	1,76	19,78	66,32	5,58

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10200 в ТУСУРе.

Библиографический список

1. Захлебн А. С. Построение ортофотоплана местности с использованием БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4 // Электронные средства и системы управления: материалы докл. в междунар. науч.-прак. конф. 2018. № 1–2. С. 159–161. EDN: ZEMEMP.
2. Захлебн А. С. Метод обработки материалов аэрофото-съемки для построения геопривязанного ортофотоплана местности с телевизионной камеры беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 PRO // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2021. № 4 (53). С. 26–35. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-4-26-35.
3. Kapustin V., Movchan A., Kuryachiy M. [et al.]. Activepulse television measuring systems images space-time filtration by // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1488. P. 1–6. DOI: 10.1088/1742-6596/1488/1/012032.
4. Гуркина Е. Д., Белов Ю. С. Коррекция размытых изображений // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 5. С. 30. EDN: ZNLNGL.
5. Браславская О. Б., Гендрин И. Ю., Квач А. С. Сравнение двух методов расчета функции размытия точки и оптической передаточной функции // Известия вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 9–2. С. 215–216. EDN: RWIFMF.
6. Медведков Н. В., Трубаков А. О. Исследование метри-качества результатов инверсной фильтрации Винера для размытых и прямолинейно смазанных изображений // КОГРАФ-2021: сб. материалов 31-й Всерос. науч.-прак. конф. по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 19–22 апреля 2021. Нижний Новгород: Изд-во НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2021. С. 51–58. DOI: 10.46960/43791586_2021_51. EDN: YANYHA.
7. Брейкина К. В., Умняшкин С. В. Оценка качества изображения при компенсации смаза по методу Люси–Ричардсона // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2020. Т. 25, № 2. С. 167–174. DOI: 10.24151/1561-5405-2020-25-2-167-174. EDN: GDDQFI.
8. Данилина Е. А., Елфимов В. Т. Оптимизация решения задачи восстановления изображения методом Тихонова // Молодежный научно-технический вестник. 2016. № 2. С. 34. EDN: VRWZRH.
9. Медведков Н. В., Трубаков А. О. Решение задачи «слепой» деконволюции с помощью генетического алгоритма // КОГРАФ-2022 по графическим информационным технологиям и системам: сб. материалов 32-й Всерос. науч.-прак. конф., Нижний Новгород, 18–21 апреля 2022. Нижний Новгород: Изд-во НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2022. С. 39–47. DOI: 10.46960/kograp_2022_39. EDN: AIEBRU.
10. Коробейников А. Г., Федосовский М. Е., Алексанин С. А. Разработка автоматизированной процедуры для решения задачи восстановления смазанных цифровых изображений // Кибернетика и программирование. 2016. № 1. С. 270–291. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.1.17867. EDN: VKQHCD.

ЗАХЛЕБИН Александр Сергеевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры телевидения и управления, младший научный сотрудник лаборатории телевизионной автоматки Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск.

SPIN-код: 7268-2196

AuthorID (РИНЦ): 976293

Адрес для переписки: aegosnimok@gmail.com

КУРЯЧИЙ Михаил Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и управления, старший научный сотрудник лаборатории телевизионной автоматки ТУСУР, г. Томск.

SPIN-код: 1827-7872

AuthorID (РИНЦ): 530114

ORCID: 0000-0002-3970-5644

AuthorID (SCOPUS): 56926935000

Адрес для переписки: kur@tu.tusur.ru

КАПУСТИН Вячеслав Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и управления, заведующий лабораторией телевизионной автоматки ТУСУР, г. Томск.

SPIN-код: 7584-3518

AuthorID (РИНЦ): 897739

ORCID: 0000-0002-2293-0511

AuthorID (SCOPUS): 56926934100

КАМЕНСКИЙ Андрей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и управления, доцент кафедры цифрового телевидения ТУСУР, г. Томск.

SPIN-код: 9572-4278

AuthorID (РИНЦ): 1057825

ORCID: 0000-0001-6587-7776

AuthorID (SCOPUS): 57191031758

МОВЧАН Андрей Кириллович, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и управления, младший научный сотрудник лаборатории телевизионной автоматки ТУСУР, г. Томск.

SPIN-код: 7690-0947

AuthorID (РИНЦ): 975781

AuthorID (SCOPUS): 57203239393

Для цитирования

Захлебн А. С., Курячий М. И., Капустин В. В., Каменский А. В., Мовчан А. К. Повышение контраста и точности локализации объектов интереса на ортофотопланах местности, построенных по искаженным изображениям с беспилотного летательного аппарата // Омский научный вестник. 2024. № 1 (189). С. 119–126. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

Статья поступила в редакцию 23.08.2023 г.

© А. С. Захлебн, М. И. Курячий, В. В. Капустин,

А. В. Каменский, А. К. Мовчан

INCREASING THE CONTRAST AND ACCURACY OF LOCALIZATION OF OBJECTS OF INTEREST ON ORTHOPHOTOMAPS OF THE TERRAIN BUILT FROM DISTORTED IMAGES FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

In this article, we will consider and compare methods for eliminating distortions in the original images obtained from an unmanned aerial vehicle. The main goal of these methods is to increase the contrast and accuracy of determining the coordinates of objects of interest relative to the background. To conduct the study, aerial work is performed, during which initial images of the underlying surface with different exposure times are obtained, as well as data from the unmanned aerial vehicle navigation module. Further, cameral processing of the received materials is carried out. The exact centers for photographing each image are calculated and orthophotomaps of the area are built. Then we have evaluated the contrast and accuracy of determining the coordinates of objects of interest relative to the background on the orthophotomaps of the area built from the original and restored images using various methods.

Keywords: terrain orthomosaic, image, accuracy, contrast, object of interest, distortion, unmanned aerial vehicle.

Acknowledgments

The study is supported by the Russian Science Foundation grant No. 21-79-10200 at TUSUR.

References

1. Zakhlebin A. S. Postroyeniye ortofotoplana mestnosti s ispol'zovaniyem BPLA vertoletnogo tipa DJI PHANTOM 4 [Creation of an orthophotomap of the area using the DJI PHANTOM 4 helicopter type UAV] // *Elektronnyye Sredstva I Sistemy Upravleniya. Electronic Devices and Control Systems*. 2018. No. 1–2. P. 159–161. EDN: ZEMEMP. (In Russ.).
2. Zakhlebin A. S. Metod obrabotki materialov aerofotos'yemki dlya postroyeniya geoprivязannogo ortofotoplana mestnosti s televizionnoy kamery bespilotnogo letatel'nogo apparata DJI Phantom 4 PRO [A method of processing aerial photography materials for building a georeferenced orthomosaic of the terrain from a television camera of the unmanned aerial vehicle DJI Phantom 4 PRO] // *Doklady Akademii Nauk Vyshey Shkoly Rossiyskoy Federatsii. Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2021. No. 4 (53). P. 26–35. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-4-26-35. (In Russ.).
3. Kapustin V., Movchan A., Kuryachiy M. [et al.]. Activepulse television measuring systems images space-time filtration by // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1488. P. 1–6. DOI: 10.1088/1742-6596/1488/1/012032. (In Engl.).
4. Gurkina E. D., Belov Yu. S. Korrektsiya razmytykh izobrazheniy [Image motion deblurring] // *Mezhdunarodnyy Studencheskiy Nauchnyy Vestnik. International Student Scientific Herald*. 2017. No. 5. P. 30. EDN: ZNLNGL. (In Russ.).
5. Braslavskaya O. B., Gendrina I. Yu., Kvach A. S. Sravneniye dvukh metodov rascheta funktsii razmytiya tochki i opticheskoy peredatochnoy funktsii [The comparison of two methods for determining of point spread function (PSF) and optical transfer function (OTF)] // *Izvestiya vuzov. Fizika. Izvestiya vuzov. Fizika*. 2013. Vol. 56, no. 9–2. P. 215–216. EDN: RWIFMF. (In Russ.).
6. Medvedkov N. V., Trubakov A. O. Issledovaniye metrik kachestva rezul'tatov inversnoy fil'tratsii Vinera dlya razmytykh i pryamolineyno smazannykh [Research of quality metrics for results of wiener inverse filtering of blurred and linear motion blurred images] // *KOGRAF-2021. COGRAPH-2021*. Nizhny

Novgorod, 2021. P. 51–58. DOI: 10.46960/43791586_2021_51. EDN: YANYHA. (In Russ.).

7. Brejkina K. V., Umnyashkin S. V. Ocenka kachestva izobrazheniya pri kompensacii smaza po metodu Lyusi — Richardsona [Evaluation of Image Quality with Lucy-Richardson Blur Compensation] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektronika. News of Higher Educational Institutions. Electronics*. 2020. No. 2 (25). P. 167–174. (In Russ.).

8. Danilina E. A., Elfimov V. T. Optimizatsiya resheniya zadachi vosstanovleniya izobrazheniya metodom Tikhonova [Optimization of the solution of the image restoration problem by the Tikhonov method] // *Youth Scientific and Technical Bulletin*. 2016. No. 2. P. 34. (In Russ.).

9. Medvedkov N. V., Trubakov A. O. Reshenie zadachi «slepoj» dekonvolucii s pomoshch'yu geneticheskogo algoritma [Optimization of the solution to the image restoration problem using Tikhonov's method] // *KOGRAF-2022. COGRAPH-2022*. Nizhny Novgorod, 2022. P. 39–47. DOI: 10.46960/kograph_2022_39. EDN: AIEBRU. (In Russ.).

10. Korobeynikov A. G., Fedosovskiy M. E., Aleksanin S. A. Razrabotka avtomatizirovannoy protsedury dlya resheniya zadachi vosstanovleniya smazannykh tsifrovyykh izobrazheniy [Development of an automated procedure for solving the problem of restoring blurry digital images] // *Kibernetika i Programirovaniye. Cybernetics and Programming*. 2016. No. 1. P. 270–291. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.1.17867. EDN: VKQHCD. (In Russ.).

ZAKHLEBIN Aleksandr Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Television and Management Department, Junior Researcher of Laboratory of Television Automation, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk.

SPIN-code: 7268-2196

AuthorID (RSCI): 976293

Correspondence address: aerosnimok@gmail.com

KURYACHIY Mikhail Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Television and Management Department, Senior Researcher of Laboratory of Television Automation, TUSUR, Tomsk.

SPIN-code: 1827-7872

AuthorID (RSCI): 530114

ORCID: 0000-0002-3970-5644

AuthorID (SCOPUS): 56926935000

Correspondence address: kur@tu.tusur.ru

KAPUSTIN Vyacheslav Valeryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Television and Management Department, Head of Laboratory of Television Automation, TUSUR, Tomsk.

SPIN-code: 7584-3518

AuthorID (RSCI): 897739

ORCID: 0000-0002-2293-0511

AuthorID (SCOPUS): 56926934100

KAMENSKIY Andrey Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Television and Management Department, Associate Professor of Digital Television Department, TUSUR, Tomsk.

SPIN-code: 9572-4278

AuthorID (RSCI): 1057825

ORCID: 0000-0001-6587-7776

AuthorID (SCOPUS): 57191031758

MOVCHAN Andrey Kirillovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Television and Management Department, Junior Researcher of Laboratory of Television Automation, TUSUR, Tomsk.

SPIN-code: 7690-0947

AuthorID (RSCI): 975781

AuthorID (SCOPUS): 57203239393

For citations

Zakhlebin A. S., Kuryachiy M. I., Kapustin V. V., Kamenskiy A. V., Movchan A. K. Increasing the contrast and accuracy of localization of objects of interest on orthophotomaps of the terrain built from distorted images from an unmanned aerial vehicle // *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 1 (189). P. 119–126. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

Received August 23, 2023.

© A. S. Zakhlebin, M. I. Kuryachiy, V. V. Kapustin,

A. V. Kamenskiy, A. K. Movchan