

Аэрофотосъёмка с БПЛА для моделирования искусственных сооружений на автомобильных дорогах

DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.7

Суконников О.Г., ведущий инженер ООО «Индор-Центр» (г. Москва)

Гулин В.Н., директор ООО «Индор-Центр» (г. Москва)

Чиркина Н.И., к.т.н., доцент кафедры геодезии и геоинформатики, МАДГТУ (МАДИ) (г. Москва)

В данной статье кратко рассмотрены результаты эксперимента применения БПЛА в целях получения цифровых моделей искусственных дорожных сооружений, проведённого сотрудниками ООО «Индор-Центр» совместно с кафедрой геодезии и геоинформатики и дорожно-строительного факультета Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).



Введение

С тех пор как к традиционным методам получения геопространственных данных об интересующей нас местности и существующих природных и искусственных объектах на этапе инженерных изысканий добавились методы дистанционного зондирования, в том числе аэросъёмка с пилотируемых летательных и космических аппаратов, существенно повысилась информативность и оперативность получения пространственных данных. Следующим этапом стало внедрение лазерного сканирования (как воздушного, так и наземного) и аэросъёмки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что позволило добиться ещё большего эффекта в этом направлении. Особенно это ощутимо при исследовании протяжённых объектов, таких как автомобильные дороги [1].

Внедрение технологии информационного моделирования дорог на всех этапах их жизненного цикла [2, 3] накладывает определённые требования к получению и представлению геопространственной информации о различных объектах дорожной инфраструктуры. В этом аспекте технология аэрофотосъёмки с применением БПЛА открывает новые возможности оперативного получения цифровой информации о различных объектах, включая искусственные сооружения на автомобильных дорогах. В то же время наличие детальных цифровых моделей мостовых сооружений (путепроводов, эстакад и пр.) позволило бы повысить информативность данных об объекте «автомобильная дорога» в целом, а также вывести на новый

качественный уровень работы по строительному контролю в процессе строительства и реконструкции мостовых сооружений.

Мы пока не будем рассматривать методы лазерного сканирования, которые могут с успехом применяться для решения подобных задач [4]; заметим лишь, что эти методы требуют значительных затрат по сравнению с рассматриваемыми нами в этой статье.

Применение БПЛА

Применительно к мостовым сооружениям съёмка с БПЛА обеспечивает надёжное получение цифровых моделей верхних поверхностей таких объектов. Что касается подмостового пространства, здесь ситуация не так очевидна. Не все типы БПЛА обеспечивают возможность пролёта под мостовым сооружением для съёмки его скрытых от взгляда сверху поверхностей, да и не все типы аэрофотокамер позволяют реализовать такую съёмку. Дополнительным осложняющим фактором является тот факт, что на время пролёта БПЛА под сооружением прерывается приём спутниковых навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS, что исключает управление полётом БПЛА в автоматическом режиме. Целью наших работ являлось выявление возможностей этой методики и тех проблем, которые могут возникнуть на этом пути.

Конструктивная особенность камеры применяемого БПЛА заключается в том, что её ось не поворачивается в зенит и не позволяет снимать объекты, расположенные над аппаратом. Таким образом, зона охвата по верти-

кали ограничена углом обзора камеры. А поскольку нас интересует объект со всех ракурсов, то в этом случае возникает ограничение по получению снимков нижней части пролёта. Этот факт являлся отправной точкой в рамках решения задачи получения приемлемых результатов после обработки данной тестовой съёмки.

Объекты исследования

Для исследования возможности использования технологии аэрофотосъёмки с БПЛА для получения целостных цифровых моделей мостовых сооружений был проведён эксперимент по съёмке путепровода (км 63) и зверопрохода (км 78) на предпусковом участке автомобильной дороги М-11 Москва — Санкт-Петербург при поддержке ООО «Автодор-Инжиниринг» (рис. 1, 2).

Эксперимент проводился ООО «Индор-Центр» и кафедрой геодезии и геоинформатики Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) по заказу и при поддержке ООО «Автодор-Инжиниринг».

Основными целями опытных пролётов являлось следующее.

1. Оценка возможности применения БПЛА для получения полной (целостной) цифровой модели сооружения с учётом подмостового пространства и скрытых от взгляда сверху поверхностей, удовлетворяющей требованиям, приведённым выше.
2. Оценка эффективности аэрофотокамеры БПЛА для создания снимков, позволяющих сфор-



Рис. 1. Путепровод на 63-м км автодороги М-11



Рис. 2. Зверопроход на 78 км автодороги М-11

мировать пространственную цифровую информационную модель искусственного сооружения с точностью и степенью детализации, достаточной для контроля работ на стадии строительства и эксплуатации.

3. Оценка ограничения по получению снимков нижней части пролёта для применяемого типа БПЛА.

Применяемые методики

Для съёмки использовался квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro (рис. 3), который в процессе полётов управлялся в ручном режиме. Для устранения искажений модели, точной привязки её к местности и сведения результатов съёмки в единую систему координат использовались специальные кодовые марки (КМ), или опознаки, которые были закреплены на горизонтальных и вертикальных поверхностях объекта съёмки. Кодированные марки могут использоваться в качестве маркеров для задания локальной системы координат и масштаба модели или в качестве верного соответствия для повышения эффективности процедуры выравнивания фотографий. В программе PhotoScan предусмотрено автоматическое выявление и сопоставление КМ на ис-

ходных фотографиях, что позволяет сэкономить время на ручную расстановку маркеров.

Кроме того, при автоматической обработке возрастает точность проводимых операций (обнаружение КМ и расстановка маркеров).

Определение координат опознаков производилось комплектом из двух GNSS-приёмников в режиме кинематики stop-and-go, а также электронным тахеометром (рис. 4). Привязка полевой базовой GNSS-станции производилась в режиме статики от пункта IGS «Менделеево» (MDVJ), расположенного неподалёку от района работ, что позволило получить точность, необходимую для проведения подобного вида работ [5].

В процессе работ требовалось получить необходимое количество снимков для дальнейшей фотограмметрической реконструкции 3D-объекта, используя для этого специализированное программное обеспечение Agisoft PhotoScan. Корректное построение модели происходит лишь при наличии необходимого перекрытия соседних снимков как в продольном, так и поперечном направлениях. Исходя из этого было произведено избыточное количество снимков (порядка 500) с дальнейшим отбором необходимых для реконструкции.

Программа Agisoft PhotoScan позволяет после выравнивания снимков и определения положения и параметров ориентирования камер получить разреженное облако точек с трёхмерными координатами. На втором этапе Agisoft PhotoScan выполняет построение плотного облака точек на основании рассчитанных положений камер и используемых фотографий. Плотность этого облака определяется разрешением снимков и параметрами обработки, изменяемыми в зависимости от поставленной задачи. Пример плотного облака точек показан на рис. 5.

Для точной привязки реконструированной модели к местности и построения её без искажений используются опорные точки (опознаки), как отмечалось ранее. Использование опознаков позволяет привязать модель к местности с точностью до нескольких сантиметров. Фрагмент трёхмерной модели зверопрохода, текстурированный фотоизображениями, показан на рис. 6.

Как было упомянуто выше, не все необходимые ракурсы съёмки нам может обеспечить используемый БПЛА. В связи с этим было принято решение попытаться восполнить недостающие снимки при помощи смартфона Sony Xperia Z2, разрешение матрицы которого (20,7 Мп) близко к разрешению бортовой камеры БПЛА. Также была задействована имеющаяся у него функция «Геометки», позволяющая передавать в Exif-данные координаты центров фотографирования. Дополнительные наземные снимки также предполагалось дополнить для более корректной реконструкции мелких и ажурных деталей мостового сооружения, которыми являлись в основном ограждения.



Рис. 3. Внешний вид БПЛА DJI Phantom 4 Pro



Рис. 4. Определение координат опознаков на колоннах

До этого момента у нас не было подобного опыта комбинирования аэросъёмки и наземной съёмки, поэтому мы полагались лишь на заявленные возможности программного обеспечения Agisoft Photoscan. Проведя совместную обработку воздушной и наземной съёмок, мы пришли к выводу, что подобная обработка вполне допустима при соблюдении некоторых условий. К ним можно отнести технические возможности камеры для наземной съёмки и минимальное расхождение по времени съёмки с воздуха и земли.

В первом случае имеется в виду возможность вести наземную съёмку с максимальным разрешением, корректная автоматическая обработка снимков, особенно в условиях повышенной контрастности, выполнение высокоточного позиционирования центров фотографирования, которое зависит от встроенной GPS-платы. Что касается временной сдвигки между сессиями воздушной и наземной съёмок, то здесь имеется в виду недопущение значительного расхождения в обзоряемой ситуации снимаемого объекта из-за передвижения солнца и перемещения предметов в границах съёмки.

Заключение

Перечисленные факторы, к сожалению, негативно повлияли на результаты обработок наших снимков. Так, из почти ста снимков, сделанных смартфоном, в окончательном уравнивании и построении цифровой модели были использованы лишь 10 процентов из них, что не позволило нам в полной мере возместить недостающие снимки, выполненные с беспилотника. Грубое позиционирование смартфона, которое порой смещало координаты наших снимков на десятки метров и объединяло в одну пространственную точку несколько снимков, внесло значительные ошибки в формирование цифровой модели. Фактически это свело на нет положительный эффект комбинированной съёмки. Помимо этого, мы не располагали достаточно мощным компьютером для совместной обработки всех снимков, из-за чего значительно увеличилось время для получения готового результата. Но этот факт не лишает нас оптимизма в решении этой задачи. Проблемы, которые возникают при решении подобных задач, мы смогли выявить. По крайней мере, мы уже знаем, что нам для этого нужно, и предполагаем вести дальнейшие работы по совершенствованию технологии данного эксперимента.

Для оценки точности построения цифровой модели объекта мы произвели дополнительные высокоточные GNSS-измерения контрольных точек, помимо измеренных опорных точек, по которым и определялась погрешность реконструкции. Эти результаты представлены на фрагменте отчёта, генерируемого программой Agisoft Photoscan (табл. 1).



Рис. 5. Фрагмент плотного облака точек в программе Agisoft PhotoScan



Рис. 6. Фрагмент цифровой модели зверопрохода

Проведя совместную обработку воздушной и наземной съёмок, мы пришли к выводу, что подобная обработка вполне допустима при соблюдении некоторых условий.

Как видно из представленных результатов, средняя ошибка построения цифровой модели в плане не превышает четырёх сантиметров, а по высоте — семи сантиметров.

Результатом реконструкции в Agisoft Photoscan явились плотные облака точек, сохранённых в формате LAS, которые могут быть использованы в дальнейшей обработке с целью извлечения необходимой информации из полученных цифровых моделей. Размер такого плотного облака составил порядка 65 млн пикселей. В среде Agisoft Photoscan есть возможность проводить линейные промеры между интересующими нас точками, намечая их в 3D-виде непосредственно на самом облаке. Это можно использовать в целях контроля строительных элементов.

Окончательная работа над моделями объектов ещё не завершена. Предстоит свести все резуль-

Таблица 1. Фрагмент из отчёта по оценке точности.
Контрольные точки (X — долгота, Y — широта, Z — высота)

Название	Ошибка, X (см)	Ошибка, Y (см)	Ошибка, Z (см)	Общая (см)	Фото (пикс)
S1	-2,58222	7,36923	-2,43613	8,17974	6,823 (22)
S10	1,43972	5,54583	-7,37713	9,34083	0,766 (14)
S2	-2,64851	-0,793527	-5,88763	6,5045	3,348 (19)
S4	0,661429	2,46595	0,154685	2,5578	0,303 (2)
S5	0,0677444	0,554059	-8,77924	8,79696	1,024 (4)
S7	-0,685276	-1,69453	-5,46793	5,76535	4,897 (6)
S8	-0,723877	0,329738	-9,2121	9,24638	1,907 (6)
Общая	1,56711	3,6851	6,4018	7,55108	4,403

таты съёмки каждого объекта в единые модели, что требует значительных затрат компьютерного времени обработки данных. Предполагается также варьировать методы обработки в Agisoft Photoscan. Кроме того, будут сделаны выводы о возможности и целесообразности применения данной технологии в дорожной отрасли в зависимости от поставленных задач. ■

Литература:

1. Суконников О.Г., Неретин А.А., Гурьев В.А. Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 2(9). С. 44–48. DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.5
2. Попов В.А., Бойков В.Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 8–12.
3. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1
4. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 36–41.
5. Гулин В.Н. Эволюция методов измерений — от «Пи» до «Пи-Пи-Пи» // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2016. № 2(7). С. 63–69. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.2.5