

Войнаровский Александр Евгеньевич

*кандидат технических наук, генеральный директор ООО «НПП «Фотограмметрия»,
доцент кафедры картографии и геоинформатики Санкт-Петербургского
Государственного Университета – «Цифровые технологии в архитектурной
фотограмметрии»*

Я не знаю, честно говоря, не знаком, утром не был на докладах, был на занятиях в университете, поэтому интересно, но вполне вероятно, да, у нас есть разработки, ими пользуются, в том числе и зарубежные коллеги, так что вполне вероятно, что такое могли использовать. Хотя в Петербурге есть ещё предприятия, которые занимаются подобными разработками. Значит, тогда мне не надо объяснять, что такое фотограмметрия и в принципе то, чем мы занимаемся, в общем, понятно, то есть это геометрия объектов. Поскольку у нас архитектурная, реставрационная конференция, то конечно применительно к памятникам архитектуры — это отдельный раздел фотограмметрии, мы так и называем его, архитектурная фотограмметрия, поскольку здесь специфические требования и специфические задачи.

Цель моего доклада — продемонстрировать основные этапы развития этой технологии в последние годы, мы будем говорить в XXI веке, поскольку именно в это время технология полностью перешла на цифровые методы съемки и обработки, и примерно столько же времени я этим занимаюсь. А также представить основные достижения в разработке данной технологии, которые были выполнены нашим предприятием, Научно-производственным предприятием «Фотограмметрия», в сотрудничестве с Кафедрой картографии и геоинформатики, где я также работаю. И мы сотрудничаем и со студентами, и с магистрами, и с аспирантами по этой тематике. Если вернуться назад, то я начал этим заниматься в 98-м году, и технология тогда была аналоговой, я это хорошо помню, потому что был курсовой проект у одной из студенток, и мы использовали фототеодолит, фототеодолитная съемка, фирмы Carl Zeiss.

Съемка выполнялась на стеклянные пластины, это очень точный, хороший прибор, но он аналоговый, и геодезические приборы для привязки. Обработка тоже, в общем-то, аналоговая — стерео-компаратор фирмы Carl Zeiss, который имел уже датчики считывания координат для измерения снимков, и эта информация заносилась уже на компьютер. Считывание производилось автоматически, дальнейшая обработка тоже предполагалась автоматическая, в смысле компьютерная. С самого начала, когда мы начали этим заниматься, мы поняли, что надо разрабатывать свое программное обеспечение, поскольку готовых решений не было на рынке, и вот мы сразу включились в эту работу. Надо сказать, что за скоро 20 лет разработали целый пакет программных продуктов, который охватывает весь спектр обмерных задач в архитектуре — от лазерного сканирования до обработки архивных снимков.

Ещё похваляюсь, это всё конечно было апробировано, на счету предприятия уже обмер и фиксация около 300 объектов, большинство из них — памятники архитектуры, в том числе первой величины, в Санкт-Петербурге в других городах России, есть и зарубежный опыт у нас, конечно, тоже. Если вернуться к технологии «цифровая фотограмметрия», то для нас она началась в 2001 году, мы приобрели первую цифровую фотокамеру, и попытались что-то с этим сделать. За это время использовали несколько камер, сегодня наиболее часто мы применяем камеру фирмы Hasselblad, но любая эта техника, которая применяется в архитектуре она, как правило, гражданская, то есть это не метрические камеры, производители их не разрабатывали изначально для решения фотограмметрических задач. Таким образом, эта техника имеет в этом

смысле ряд недостатков, связанных с отклонением реальной проекции, в которой мы получаем снимки, от центральной проекции, для которой разработана теория фотограмметрии. Это и дисторсия, это неидеальная установка матрицы и ряд других причин, то есть необходимо обязательно выполнять калибровку, фотограмметрическую калибровку.

Это первая технология, которую мы разработали, правда, не первые в России, мы там, наверное, были в тройке, но, тем не менее, одни из первых. Итак, если кратко, чтобы не тратить время на технические вопросы, скажу, что это выполнялось по съемке тест-полигона, то есть у нас есть тест-полигон, на котором определённое количество марок, координаты которых мы заранее знаем с высокой точностью, фотографируют этот полигон, измеряем изображения этих марок на снимках, потом составляем и решаем уравнение, связывающее эти две координатные системы. Из решения находим параметры камеры и отклонения реальной проекции снимка от центральной проекции. Вот они здесь показаны векторами. Куда надо сдвинуть эту марку, чтобы проекция соответствовала центральной. И дальше это поле искажения представляется в виде полиномов, и любой дальнейший снимок, выполненный калиброванной камерой, может быть исправлен, приведён к центральной проекции.

Вот для примера, некоторые такие наиболее заметные искажения, которые убираются, и снимок становится метрическим. Вот такие могут быть искажения. Это вот здание Сената, о котором сегодня говорили, видите по такому снимку, конечно, мерить нельзя, но, тем не менее, если камера откалиброванная, вот мы получаем такое метрическое изображение, которые опять же можно трансформировать, используя метод фотограмметрии, сделать его строго параллельно фасаду, и дальше уже человек, знакомый с правилами перспективной геометрии, может составить чертеж по этому снимку в общем-то без особых проблем.

На этом была основана первая наша разработка, связанная с обмерами фасадов по вот таким трансформированным снимкам в системе AutoCAD. Использовалась программное обеспечение «Фото-трансформатор», была специально разработана такая утилита, стереотрейсер, которая встраивалась в систему AutoCAD и позволяла читать там снимки, трансформированные элементы их ориентирования и выполнять эти обмеры, а также программа по обработке данных привязки.

Для привязки снимков достаточно было четырёх точек. По этим точкам мы могли решать засечку и трансформировать снимки на плоскость фасада. Дальше они подгружаются в систему AutoCAD, и сразу начинается составление чертежа. Фасад – это набор плоскостей, будем говорить в большинстве своем, и масштаб изображения на плоскости трансформированного снимка сохраняется постоянно, поэтому, чтобы его определить, достаточно просто указать одну точку на обоих снимках, или для контроля две-три, программа вычислит координаты, и смасштабирует изображение и привяжет его в графическом поле. Для контроля можно получить вот такое совмещенное изображение, чтобы увидеть всё ли получилось. Если изображение резкое, то можно заниматься составлением векторизации. Видите, на следующем слайде резкими являются периферийные части фасада, то есть смасштабировано по этим изображениям.

На следующем мы видим, что совпадает только конёк, но, тем не менее, он может быть нарисован. Параллельно вот с такими совмещенными масштабируются и привязывается одиночные снимки, по которым удобнее рисовать и в принципе, вот так переходя от плоскости к плоскости, в разных слоях, меняя снимки, если нужно, составляются элементы чертежа, которые открываются вместе, закрываются снимки, и мы получаем чертеж, который остается только оформить и вывести на печать. Параллельно с этой технологией была разработана технология обмера сечений, все-таки сечения, шаблоны – это один из важных элементов обмерной документации. И эта технология, конечно, о которой я сейчас говорил, не вполне подходила для этой задачи, не самым эффективным способом решала эту задачу. Поэтому была придумана такая методика, основанная на применении построителя лазерной плоскости, или нивелир лазерный, который на стройках часто используется. Этот прибор проецирует обычно две плоскости – вертикальную и горизонтальную, и если нам надо составить сечение,



мы направляем линии на интересующий объект, прорисовывается линия сечения, и дальше надо как-то зафиксировать, поскольку мы фотограмметристы, мы фотографируем, и дальше надо убрать эту перспективу и определить углы привязки, и трансформировать снимок на заданную плоскость. И мы получаем правильную линию разреза, которую надо только смасштабировать и отвекторизовать.

Дальше мы развили эту систему, постарались уйти вообще от всякой геодезической привязки, был разработан такой станок с двумя плоскостями, и стали выполнять обмеры, в том числе и фасадов, в данном случае – это здание тюрьмы, Новая Голландия, здесь недалеко. После трансформирования мы получаем, видите, правильные линии сечения; следующее – это Красная Площадь, средние торговые ряды, вот фотография, трансформированный снимок, векторизация и, собственно, оформление чертежа.

Следующей серьезной разработкой было сочетание вообще технологии лазерного сканирования, у нас появился сканер в 2007 году, и мы сразу поняли достоинство этой технологии, и недостатки, связанные с ПО. Кроме того, хотелось совместить достоинства обоих методов, так родилась программа Scan Imager, которая сегодня хорошо известна. Думаю, вполне вероятно, может быть, коллега из Италии именно о ней и говорил. Программа обрабатывает лазером данные сканирования, данные фотограмметрической съемки, может совместно обрабатывать в разных комбинациях. Почему это важно – совмещать? Сканер позволяет легко получать геометрию объекта. Но Вы видите, изобразительные свойства этих сканов, конечно, сильно уступают данным фотосъемки, поэтому если это совместить, то мы получаем легко и геометрию, и изображение.

Для этого совмещения необходимо определить несколько точек, минимум четыре, на скане и на снимке. Дальше решается так называемая обратная фотограмметрическая засечка, и мы находим координаты точки снимка в системе скана и три угла, которые ориентируют главный луч съемки относительно системы координат скана. Дальше каждая точка может быть пересчитана на плоскость снимка, и оттуда получаем свет. Таким образом, получается, что мы выполняем строгое аналитическое окрашивание каждой точки, видите, здесь это не натянутая фотография, это абсолютно правильное аналитическое решение. Тут три снимка, видите, на границах есть неизбежные какие-то ступеньки по яркости, связанные с тем, что меняются условия освещения, ну или параметры фотоаппарата, если съемка была на автомате, программа позволяет это убирать. И вот эта технология, которую мы применили, она на самом деле очень много дала, и даже я бы сказал, что вот в Санкт-Петербурге мы даже ввели некие определенные новые стандарты в плане фиксации настенной живописи, и не только, москвичи тоже это применяли, но наверное в меньших все-таки масштабах. То есть мы зафиксировали целые ряды интерьеров, в памятнике Китайский дворец, Эрмитаж, Главный Штаб, ряд других. Ортофотоплан, фото-развертки живописи, чертежи, совмещенные с ортофотопланами – там, где есть живопись, глупо как-то ее мерить, рисовать, лучше всего сделать хорошее метричное фотоизображение, этого для фиксации более, чем достаточно.

Для иллюстрации покажу результаты работы в Новочеркасске, это 2009-2010 год, Войсковой кафедральный собор, огромное здание, считается третьим по величине храмом в России. Внутри настенная живопись оригинальная, которая до этого времени не подвергалась реставрации, и наша задача была помимо выполнения обмеров, составления комплекса обмерных чертежей, была фиксация этой живописи, создать эти ортофотопланы. Вот это данные сканирования, а это вот результат такой совместной обработки. Внутри интерьеры были сняты цифровой камерой с высоким разрешением, порядка 2000 снимков. При том, что высота вот здесь – более 50 метров, наверное, 55 или 56, я так точно не помню, и разрешение съемки было от 0,5 мм до 2 мм на пиксель. Благодаря этому, мы смогли посмотреть на живопись с несколько непривычной стороны, да, и составить документацию. Здесь ортофотоплан иконостаса с разрешением примерно 0,7 мм на пиксель, это разрез, совмещенный с ортофотопланами. Одним из достоинств такой документации является то, что для архитектора, для реставратора это определенный метод изучения объекта – огромный объект, там столько сюжетов. И Вы тут



можете сразу посмотреть и понять, замысел, может быть, живописца, который это расписывал, а если ходить там по самому собору, то там не один час и наверное, не один день. Потому что очень много объектов, огромные размеры, и не охватить просто все это быстро, а тут Вы сразу видите всю картину. Также касается вот потолки, план плафонов, совмещенный с ортофотопланами.

Для иллюстрации разрешения, здесь вот, видите, 1 мм на пиксель, все детали хорошо видны. Следующий объект – Морской собор, где у нас стояла, в том числе и такая задача: мы этот объект несколько раз обмеряли в разное время и для разных задач, и это в 2009 вот, облако точек, было получено из лазерного сканирования, и 2011, по-моему, уже по результатам восстановления, где-то реставрации, а где-то новодела настенной живописи. Причем задача была на самом деле простая, правда мы о ней узнали не с самого начала, надо было посчитать площадь позолоты. Ну, так примерно, половина площади – это позолота. Конечно, везде разная эта пропорция, поскольку рисунок сложный и разный, и как мы видим, форма очень сложная, то есть нельзя это сделать по трехмерке из-за рисунка, нельзя сделать по ортофотоплану, потому что практически нет ровных стен, везде либо цилиндр, либо эллипс, либо сфера.

И, конечно, в этом случае, это первый объект, где мы почувствовали, что надо делать обязательно такой инструмент, чтобы было получение разверток. А поскольку развертки это специфические, это фото-развертки, то каждый пиксель имеет три координаты и, в общем-то, для поверхности простой формы, там цилиндрические, когда кривизна в одном направлении, то в принципе это несложно, определить кривую и развернуть поверхность. Когда поверхность вот такая, второго порядка, более сложная, конечно тут так сходу решения не было. Поскольку по специальности и по образованию, скажем так, я картограф, окончил кафедру картографии, то решение пришло – надо применять картографические проекции, эта задача в картографии решена, надо искать математическую модель, там сфера или эллипсоид, спроецировать на нее эти точки, и дальше менять проекции. Тем более, что эта теория хорошо разработана, и есть такой класс проекций – равновеликие, которые сохраняют площади, искажают длины линий, но сохраняют площади контуров, и именно это в том случае и было надо. Получаются вот такие развертки, дальше уже было дело техники выделить позолоту, она везде имеет определенный оттенок, и с применением фильтров мы смогли этот процесс автоматизировать и быстро все это посчитать.

Следующая такая вот задача, где применялся комплекс методов, и в новом качестве, здесь вопрос о текстурировании не стоял, вот это был обмер и создание модели горельефа скульптора Вучетича «Советскому народу слава», который находится в Центральном павильоне ВДНХ. Учитывая масштаб объекта, примерно 13 метров ширина, более сотни фигур, по-моему, 150 даже, почти в натуральную человеческую величину, масса мертвых зон, и надо сделать детальную полигональную модель. Задача очень нетривиальная, и мы, конечно, как обычно, в общем-то, ограничены в сроках, поэтому тут мы применяли все методы, которые были для съемки. К тому же, в Москве, а если бы в Петербурге – что-то не доснял, пошел, так сказать... Мы применяли весь арсенал, который есть, и даже кое-что пришлось придумать. Это и лазерный сканер, и ручной триангуляционный высокоточный сканер, это разные камеры, большие и маленькие, в том числе камера на фотоаппарате и эндоскоп, если где-то не долезть было, вот вышеперечисленными приборами. И в результате, мы получили в итоге модель, которую мы здесь продемонстрируем в виде вот такого видео-ролика. Вот, обратите внимание, у каждого человека две ноги, и у каждой ноги есть тыльная сторона, и то же касается рук, головы, и там очень мало пространства – все это было отсканировано, построены модели полигональные, и все это было объединено, сшито, и за непродолжительное время. Здесь фотограмметрия использовалась именно не для цвета, а для геометрии. Методы фотограмметрии, в принципе, классические предполагают, что надо найти 3D параметры объекта, вот, и здесь именно это использовалось.

И вот это последний раздел, но очень важный, на мой взгляд, моего доклада, и вообще, наших разработок. Он связан с фотограмметрической обработкой архивных снимков. Архивные снимки, в решении задач с реставрацией, с воссозданием, трудно переоценить их влияние. Это материал, который есть, слава богу, и который позволяет нам часто воссоздавать утраченные



элементы, и составляет очень сложную проблему архитектурной фотограмметрии. Возможно, самую сложную.

Значит, какие снимки мы понимаем под термином «архивные снимки»? Для себя я это сделал так – это снимки, которые выполнены камерой, параметры которой ты, в общем, не знаешь. Наверное, за редкими исключениями, можно сегодня говорить и об архивных цифровых снимках. Вчера был доклад, там упоминали о Пальмире, там множество цифровых снимков, и конечно, обрабатывать эти снимки существенно проще, поскольку там, как правило, есть EXIF информация и какие-то другие данные могут быть, вплоть до координат спутниковых.

Сильно повезет, если Вы получите снимки, выполненные на метрическую камеру, значит снимал фотограмметрист, но, как правило нас интересуют с точки зрения реставрации, снимки там столетней давности, и как правило, в это время снимали на такую камеру-гармошку, которая составляет самую большую сложность в обработке, потому что у этих камер нет жесткой связи объектива и фотопластинки, каждый снимок уникален. И мы давно над этим думали, но задача как-то вот не давалась, решение этой задачи, и наконец-то около 2 лет назад, пришла пара интересных алгоритмов, которые мы опробовали, и стало получаться. Сегодня могу сказать, что в большинстве даже, наверное, случаев мы можем восстанавливать параметры камеры, и, соответственно, геометрию объекта вот по таким снимкам.

Конечно, важно еще как перевести эти данные в цифровую форму. Крайне нежелательно использовать снимки, которые были увеличены там, копии, надо использовать, конечно, оригиналы, и желательно отсканированные на профессиональном фотограмметрическом сканере, не дающем искажений. Если нет, то хотя бы фото-сканер обычный, предварительно откалиброванный с точки зрения метричности. И программное обеспечение, тут как такового одного продукта нет, мы используем весь арсенал, который у нас есть, В качестве иллюстрации я представлю несколько таких, интересных, на мой взгляд, результатов, то есть из таких, скажем, производственных объектов по данной тематике, у нас был, в общем-то, всего один, поэтому покажу просто возможности, да. Вот это здание, оно в ста метрах находится, если Вы где-нибудь посмотрели в то окно, оно находится по ту сторону Крюкова канала, я каждый день здесь езжу на работу. Фотографии сделаны были несколько лет назад, то есть снимки, в каком-то смысле, архивные. За это время здание могло поменяться, машины, наверняка уехали, но, тем не менее, мы можем обработку сделать сегодня, и получить, восстановить вот такую трехмерную модель, облако точек, где и машины на месте, и здание мы видим. Это облако точек в принципе имеет те же свойства, что и облако точек из лазерного сканирования, каждая точка имеет три координаты, но оно тут еще имеет цвет. Мы можем здесь сделать ортофотоплан, любое сечение, составить чертеж, абсолютно метричное изображение.

Отсюда мы пойдём в обратную сторону, в плане технологии вперед, а в плане истории – назад. Это Никольский Морской собор, сегодня о нем уже говорили, это вот материалы нашей первой съемки 1999 года на фототеодолит съемки. Здесь показаны три снимка, которые были отсканированы, и мы попробовали их обработать, как будто бы мы ничего не знаем. Получили очень хорошего качества трехмерную модель, которая, в общем-то, ничем не уступала данным сканирования. Во многом, конечно, благодаря качеству этих материалов. Это Греческая церковь, она находилась на Лиговском проспекте там, где, как я понимаю, сейчас находится концертный зал Октябрьский. Построена была в середине XIX века, архитектор Кузьмин, и уничтожена большевиками в 1939 году. Нам попала вот эта стереопара, мы попробовали восстановить, в общем, удалось получить тоже облако точек, оно, конечно, более плохого качества, здесь есть дыры, поскольку многое зависит от качества снимков. Но я хочу обратить внимание, что это там для программы, для корелятора это представляет проблему, если наша задача – геометрию восстановить, то человек может домерить по этим снимкам все, чего не хватает для модели. Облако точек не является самоцелью, это просто иллюстрация возможностей метода.

Замок Кенигсберг. Построен в середине, во второй половине XIII века, сильно пострадал во время Второй Мировой Войны, и был окончательно уничтожен в 1960е годы XX века. Тоже попала нам вот стереопара, но честно говоря, я этим объектом много занимался, и это первое,



что у нас получилось восстановить, облако точек вот по архивным снимкам. И когда это получилось, честно говоря, трудно передать эмоции, как будто бы такое путешествие на машине времени с лазерным сканером в Восточную Пруссию, сто лет назад.

Сейчас уже как-то так, привык, вижу изъяны, вижу некие неточности, ошибки. Но тогда это было удивительно. И если уж говорить о Кенигсберге, вот это снимок, панорамный аэрофотоснимок, вот здесь находится, сам замок. Здесь Домский собор, то есть кафедральный собор города, на острове Иммануила Канта. Вот сейчас это выглядит вот так, то есть город Калининград, и вчера был доклад профессора-картографа из Италии, который говорил о необходимости сохранения исторического, географического, разных типов ландшафтов, что это очень важно. И Владимир Александрович даже сказал такую реплику, что во Флоренции построили здание в центре города, которое не очень вписывается в этот ландшафт, так вот здесь картина обратная – один объект он остался как бы, это Домский собор, который тоже недавно был восстановлен, то есть он тоже был в значительной степени разрушен, и совершенно новый город. Но, тем не менее, если мы хотим посмотреть, как это было, и посмотреть не просто фотографии, а 3D, надо использовать методы фотограмметрии. Два снимка, стереопара, из обработки которой, мы получаем вот такое облако точек, удастся восстановить всю эту сцену, картину, Вы видите здания, они стоят, собор, замок. Причем это измерительный документ, а не просто картинка. Сейчас будет показано, что мы измеряем размер, длину этого фасада, и она составляет 56 метров, чуть больше. Любой другой объект, который здесь виден на этом облаке точек, может быть измерен, и его какие-то видимые геометрические характеристики восстановлены. Это весь материал.

Позвольте, я сформулирую несколько таких важных выводов, на мой взгляд. Конечно, методы фотограмметрии, сканирования и вообще все эти инструментальные методы, в последние годы произошла определенная революция, и очень приятно, что мы в этом участвовали. И конечно, по-другому сейчас обмеры не делают, и, безусловно, эта технология развивается наиболее быстрыми темпами. Конечно, при сложных объектах, когда большие сложные формы, оптимально сочетание различных методов, в зависимости от особенностей объектов. Важнейший вывод – это то, еще раз хочу на это обратить внимание, что фотоснимки фиксируют не только внешний облик объекта, там скрыта, зашифрована информация о геометрии объекта, и конечно, они являются ценнейшим фиксационным материалом, который мы на сегодняшний день используем не более, чем на 2-3%. То есть обычно, это как делается, берутся архивные снимки, архитектор смотрит, у него есть свое понимание, как это построено, правила архитектуры, и он делает определенные выводы, то есть непосредственно фотограмметрия, насколько я понимаю, не применяются при работе с архивными материалами, а это очень важно. И конечно, как мне, надеюсь, удалось показать, при наличии хорошего качества достаточного количества архивных материалов, мы можем восстанавливать целиком модели объектов, даже не только отдельные размеры. Спасибо за внимание!

