

ОБРАБОТКА ДАННЫХ БПЛА В ПРОГРАММЕ UASMASTER

Н.Э. Рубцова (Компания «Совзонд»)

В 2012 г. окончила факультет прикладной космонавтики и фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». В настоящее время — инженер-фотограмметрист компании «Совзонд».

В последнее время в сфере аэрофотогеодезии становится все более популярным и обсуждаемым применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для целей создания топографических карт и планов. Ключевыми факторами подобной тенденции является оперативность получения данных и относительно низкая стоимость реализации подобных проектов. Таким образом, съемка небольших территорий в целях крупномасштабного картографирования с помощью беспилотных летательных аппаратов может конкурировать с классической аэросъемкой или космической съемкой по временным и экономическим показателям.

Конечно, помимо преимуществ, съемочные данные с БПЛА характеризуются рядом особенностей, что делает несколько затруднительным применение классических методов для их фотограмметрической обработки. Существует масса негативных факторов: использование некалиброванных бытовых камер со шторно-щелевыми затворами без компенсации сдвига изображений, нестабильное поведение летательного аппарата в воздушном пространстве, неспециализированное бортовое оборудование (зачастую на БПЛА устанавливают только приемник GPS без инерциальной системы и не применяют дифференциальную коррекцию). Все это накладывает определенный отпечаток на подход к обработке таких данных.

Поэтому параллельно с ростом интереса к съемке с помощью БПЛА разработчики современных цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) все чаще добавляют в программы специальные алгоритмы и наборы функций для работы с такими данными.

▼ Обработка данных БПЛА в ПК Inrho

Среди широко известных фотограмметрических решений одним из наиболее производительных является программный комплекс (ПК) Inrho компании Trimble. Это полнофункциональная фотограмметрическая система, позволяющая решать широкий спектр задач, связанных с обработкой снимков. Рассмотрим более подробно возможности по обработке данных с БПЛА, предлагаемые в ПК Inrho.

В Inrho специальные алгоритмы для обработки материалов, полученных с БПЛА, были реализованы, начиная с версии 5.5 (релиз 14 ноября 2012 г.). В текущей версии программы 5.7.1 (релиз май 2014 г.) расширены функциональные возможности по обработке фотограмметрической продукции путем добавления опций, предназначенных для оптимизации уже существующих алгоритмов и учитывающих некоторые особенности данных с БПЛА.

Прежде всего, реализована полная поддержка данных, получаемых с помощью БПЛА компании Trimble. Например, для БПЛА Trimble UX5 или Trimble X100 в

файл проекта Inrho автоматически через конвертор загружаются снимки, информация о камере и данные об ориентации камеры. Для других беспилотных летательных систем используются стандартные функции импорта при определении проекта.

Стратегия, предложенная разработчиками именно для работы с данными с БПЛА, заключается в итерационной обработке этих данных.

Первоначально в модуле MATCH-AT выполняется уточнение элементов внешнего ориентирования через функцию автоматического извлечения связующих точек на одном уровне пирамид изображений загруженных в проект снимков. (Пирамида изображений — это коллекция изображений, получаемая из исходного изображения путем его последовательного сжатия, пока не будет достигнута минимальная точка (такой точкой может быть один пиксель). Этот термин широко используется в разнообразных приложениях компьютерного зрения. — Прим. ред.) При этом задается достаточно грубая точность автоматических измерений на снимках (превышающая в 100 раз размер пикселя) и GPS-данных (10 м по x, y, z). Согласно этим показателям параметрам измерений присваивается вес при уравнивании проекта. Таким образом, на начальном этапе обработки устанавливается высокая степень недоверия результатам измерений.

Алгоритм извлечения связующих точек несколько отличает-

ся от стандартного алгоритма, когда эти точки извлекаются на высоких уровнях пирамиды изображений и уточняются по мере приближения к исходному разрешению снимков. Процесс последовательного уточнения заменяется избыточностью измерений для конкретной области проекта за счет использования всех доступных комбинаций стереопар для данной области проекта. Кроме того, размер матрицы поиска не ограничен. Разумеется, это приводит к увеличению времени вычислений. Основными параметрами уточнения элементов внешнего ориентирования являются:

- уровень пирамиды изображений;

- ограничение области поиска (задается в средних базисах фотографирования) для сокращения количества снимков, на которых ведется поиск соответственных точек;

- значение допуска поперечного параллакса для исключения ошибочных отождествлений.

После анализа полученного решения (в том числе интерактивного измерения недостающих связующих точек с помощью инструмента Multi Photo Measurement Tool, например в областях с низкой текстурой изображения) выполняется уравнивание. При этом используется алгоритм поиска выбросов, точность измерений на снимках принимается в 2 раза больше одного пикселя, а точность GPS-данных остается прежней (10 м по x , y , z).

Далее выполняются измерения на всех опорных точках с помощью инструмента Multi Photo Measurement Tool (возможен автоматический, полуавтоматический и интерактивный режимы измерения связующих и опорных точек).

При наличии достаточного количества и грамотном расположении опорных точек на следующем этапе выполняется ка-

либровка камеры в модуле inBlock. Задается точность измерений согласно следующим рекомендациям: точность измерений на снимках равна размеру пикселя; точность данных GPS — 10 м по x , y и z ; точность опорных точек по x и y составляет $1/8$ GSD (ground sample distance — размер пикселя на местности); точность опорных точек по z — $3/8$ GSD. Начиная с версии Inpho 5.5, модуль inBlock разделен на два режима: для калибровки и для строгого уравнивания.

В результате получаем уравненный блок с новой калиброванной камерой (все координаты точек пересчитаны согласно полученному значению главной точки). При этом в некоторых случаях, когда приближенные параметры камеры существенно отличаются от реальных, измерения большого количества связующих точек могут быть ошибочными. В таких случаях рекомендуется после получения более точных параметров камеры удалить все имеющиеся связующие точки и запустить их повторное измерение. Конечно, если БПЛА был оснащен точным бортовым оборудованием, проводились измерения углов ориентации с помощью инерциальной системы и выполнена калибровка камеры, можно использовать стандартную обработку проекта в Inpho.

Следующий этап, на котором потребовались усовершенствования алгоритмов обработки данных традиционной аэро съемки, — это автоматическое извлечение цифровых моделей рельефа (ЦМР). Для начала напомним, что, начиная с версии 5.5, в ПК Inpho реализован новый алгоритм извлечения плотных «облаков точек» (с плотностью вплоть до точки на пиксель) — Cost-Based Matching (CBM). Концептуально, это реализация алгоритма попиксельного отождествления (Semi-Global Matching), несколько мо-

дифицированного разработчиками программы, например, в CBM отсутствует шаг предварительного выравнивания яркости пикселей изображений. Рассмотрим работу алгоритма CBM на примере стереопары двух снимков: первоначально по известным элементам внешнего ориентирования выполняется расчет базисных (эпилярных) линий, т. е. линий, где поперечные параллаксы точек отсутствуют. Далее снимки трансформируются таким образом, чтобы базисные линии располагались параллельно оси x , это ограничивает поиск соответственных точек с двух направлений до одного. Далее некоторому пикселю с левого изображения ищется парный пиксель среди некоторого множества n пикселей соответственной базисной линии на правом. При этом для всех пар пикселей вычисляется некоторая корреляционная функция, так называемая «стоимость». В результате имеем множество значений «стоимостей» в виде куба диспаратета (неравенства «стоимостей»), основание которого соответствует размеру матрицы изображения, а высота — n . Минимальное значение «стоимости» соответствует максимальной корреляции. Вычислив для каждого пикселя основания это минимальное значение, получаем карту глубины (каждый пиксель отображает расстояние от точки фотографирования до объекта), которая затем пересчитывается в «облако точек», отображающее реальную поверхность. Подобные вычисления выполняются по нескольким направлениям, таким образом статистические методы обработки позволяют исключить возможные выбросы в результирующем «облаке точек».

Для обработки данных БПЛА появилась специальная настройка оптимизации этого автоматического алгоритма — UAS. Использование оптимизации увеличивает число участвующих

моделей (стереопар) с 1 до 6. То есть при создании «облака точек» будут использованы несколько моделей для измерения одной точки (рис. 1). Логично, что при этом будет создано больше точек, но потребуются значительно больше времени для обработки. Кроме того, при использовании такого типа оптимизации MATCH-T DSM увеличивает минимальный угол заделки до 9°, т. е. при создании «облака точек» не используются пары с коротким базисом, которые снижают результирующую точность по высоте.

Остальные модули работают как обычно. Далее можно в интерактивном или автоматическом режиме выполнить редактирование, классификацию, фильтрацию полученного «облака точек» в модуле DTMaster и с помощью инструмента DTMToolkit. А затем, используя полученную ЦМР или цифровую модель местности (ЦММ), построить ортофото (истинное орто) и мозаику (истинную мозаику) с помощью модулей OrthoMaster и OrthoVista.

Стоит отметить, что все упомянутые модули ПК Inpho запускаются с помощью пакетного задания — batch-файла (инструмент DTMToolkit может быть использован через командную строку, начиная с версии 5.6.0). Таким образом Inpho предлагает пользователям возможность создания однокнопочного решения типа «черный ящик».

Конечно, применение такого подхода не гарантирует, что программа позволит в полностью автоматическом режиме (нажатием одной кнопки) получить результаты, удовлетворяющие точности топографических планов. Разработчики по-прежнему советуют тщательно подходить ко всему процессу получения конечной продукции, начиная с создания проекта аэросъемки. Например, распределение опорных точек должно быть аналогичным традиционной

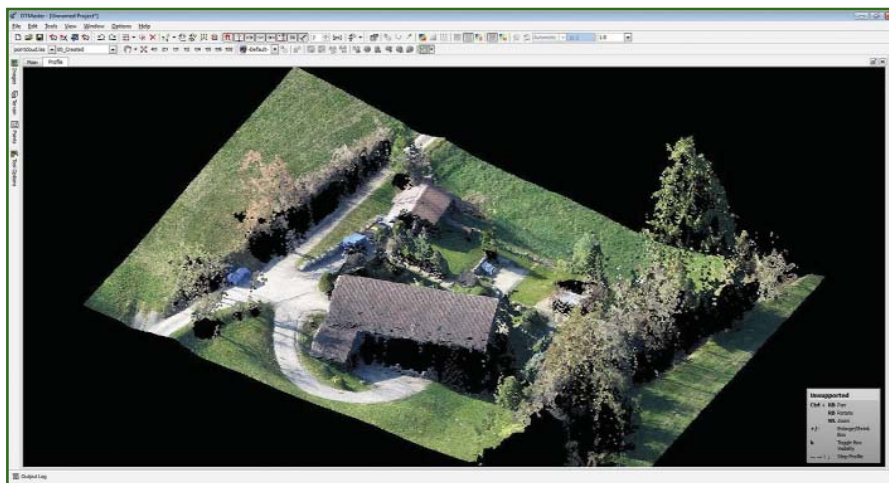


Рис. 1

Пример автоматически полученного «облака точек» по результатам аэросъемки с БПЛА

аэросъемке. Здесь также нужно учесть некоторые специфические требования, если необходимо получить качественный результат. Например, продольное перекрытие снимков должно составлять порядка 80–90%, чтобы в покрытии не было «дыр» в результате «болтанки» самолета в воздухе. Далее в работу включается оператор, который должен правильно определить проект, выбрать характеристики точности всех параметров, участвующих в уравнивании, принять решение о качестве уравненного блока/модели высот, отредактировать выбросы вручную. Но у такого подхо-

да, когда оператор контролирует каждый этап обработки, есть и противники, поскольку в этом случае, при относительно низкой стоимости аэросъемки, камеральная обработка требует дорогостоящего ПО и специальных знаний.

▼ Программа UASMaster

Учитывая специфику проектов и требования некоторых клиентов по обработке данных с БПЛА, не использующих все функциональные возможности модулей Inpho, компанией Trimble было принято решение о создании отдельной программы. В конце 2013 г. компания анон-

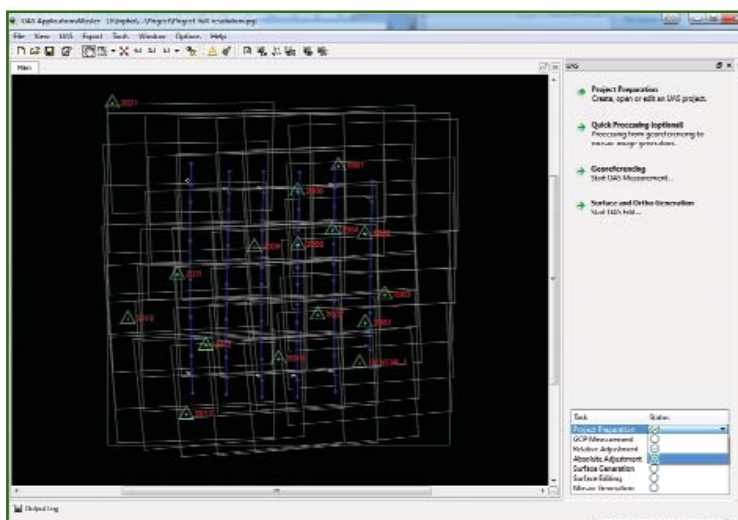


Рис. 2

Интерфейс программы UASMaster

сировала выход новой и самодостаточной программы для обработки данных с БПЛА UASMaster (рис. 2). Программа является своего рода мостиком между обработкой в режиме «черного ящика» и обработкой в интерактивном режиме.

Интерфейс программы UASMaster — иконки функций, названия инструментов и т. п. остались без изменений по сравнению с модулями Inrho и хорошо знакомы специалистам, работающим в этом программном комплексе. Но все окна программы, что весьма ценно для новых пользователей, дополнены новой вкладкой UAS, которая является своего рода инструкцией, определяющей последовательность использования инструментов. Дополнительно, для самоконтроля, появилось окно заполнения статусов.

Как было сказано выше, при создании программы использовался опыт разработки ПК Inrho. Фактически это тот же программный комплекс, но с ограниченными возможностями. Введены следующие ограничения: максимальный проект из 6000 снимков, камера с разрешением не более 40 Мпикселей, создание на весь проект единого «облака точек» и единой мозаики.

Внутри программа остается модульной. В окне UAS Applications Master (аналог Applications Master) выполняется создание проекта, задаются опции конвертирования проекта и снимков, происходит загрузка всей исходной информации и формирование проекта. В программе сохранен подход Inrho для инструментов импорта данных в проект, т. е. могут быть загружены практически любые данные (как с БПЛА самолетного типа, так и вертолетного). Нужно отметить, что разработчики тестировали программу перед ее релизом на различных данных, предоставлен-

ных партнерами компании Trimble, в том числе аэросъемке с воздушного шара, а также по результатам съемки территории различными камерами (обработка велась в среде единого проекта). UAS Applications Master также является ядром программы для запуска последующих этапов обработки.

Фототриангуляция выполняется в окне UAS Measurement (аналог Photo Measurement Tool). Здесь произошли максимальные изменения. В последнее время области компьютерного зрения и фотограмметрии идут рука об руку, и в результате в фотограмметрических программах появляются новые алгоритмы отождествления изображений, автоматического распознавания объектов и т. д. Разработчики ПК Inrho также следят за последними тенденциями и инновациями, и таким образом в UASMaster был реализован алгоритм автоматического извлечения связующих точек по всей области перекрытия (а не только в зонах Ван Грuberа) с помощью оператора SIFT. Это позволяет получать высококачественный результат взаимного ориентирования блока при минимальном вмешательстве оператора. Добавлены различные стратегии, в зависимости от полноты и качества исходной информации (учитывается разрешение снимков, точность и наличие информации от бортовых систем). Связующие точки можно извлекать следующим образом:

— на исходном разрешении снимков с помощью инструмента Full Resolution (рекомендуется применять при размере пикселя более 4 мкм);

— на загруженном в 2 раза разрешении — Half Resolution (при небольших размерах пикселя);

— на низком разрешении — Low Resolution (для грубого уточнения элементов внешнего ориентирования).

Кроме того, угловые элементы внешнего ориентирования можно уточнить для блоков с неизвестными или очень грубыми элементами внешнего ориентирования с помощью инструмента Half Resolution Approx 2D.

Чем аргументированы предлагаемые варианты извлечения точек на разных уровнях пирамиды? Например, для аэросъемки с высоты 70 м с помощью БПЛА Trimble UX5 со встроенной камерой Sony NEX-5R (разрешение 16,1 Мпиксель) размер пикселя на местности составит 2 см. Для камер с меньшим разрешением размер пикселя на местности будет больше. Учитывая качество изображений, не стоит ожидать пространственную точность объектов местности <2 см, хотя теоретически обработка на исходном разрешении (Full Resolution) должна давать точность меньше пикселя. Поэтому для камер с небольшим разрешением рекомендуется выполнять обработку с загруженным в 2 раза разрешением с помощью инструмента Half Resolution. В этом случае обработка будет выполнена гораздо быстрее, а результирующая точность — сопоставима с результатом обработки на исходном разрешении.

После измерения опорных точек доступно уравнивание с параллельной калибровкой камеры. При этом в зависимости от полноты исходной информации (какие параметры камеры были известны) можно выбрать соответствующую стратегию обработки. Калибровка камеры с помощью метода первого приближения — First Approximation используется при отсутствии информации о дисторсии камеры. Уравнивание с калибровкой позволяет получить первую модель дисторсии камеры, и, следовательно, уточнить проекции опорных точек (проще измерить). Экстенсивная калибровка — Extensive должна быть выполнена для всех камер, независимо от

ее качества. Для этой калибровки требуется предварительная модель дисторсии для ее уточнения. Будет выполнено пять последовательных калибровок. Уточнение с помощью инструмента Refine следует использовать, если после калибровки в режиме Extensive были измерены дополнительные опорные точки. Новые опорные точки могут оказывать влияние на модель камеры и, следовательно, должны быть учтены в калибровке.

Опционально можно выполнять уравнивание блока одним из трех методов: Default, Weak и Weak Approx.2D. Все три варианта уравнивания являются необязательными. Они необходимы только при повторном измерении точек, после проверки измерений или для изменения параметров уравнивания. Метод Default следует использовать только в случае, если камера откалибрована, и измерены новые или повторно измерены некоторые связующие или опорные точки. Метод Weak применяется, если камера не откалибрована или конфигурация блока неустойчива, например для предварительного поиска ошибочных измерений опорных точек. Метод Weak Approx.2D может использоваться для снимков, для которых не выполнялось автоматическое определение связующих точек, и которые должны быть подключены к остальной части блока после выполнения ручных измерений.

По сути, встроенные алгоритмы являются гарантом получения надежных результатов даже оператором без знания фотограмметрии и какого-либо опыта в обработке данных. Тем не менее, оставлены возможности интерактивного измерения связи для особо проблематичных областей («смаз» какой-либо области проекта, большие области с однородной текстурой и т. п.). Ручное редактирование или создание новых измерений возможно в моно и стерео режимах; так

же доступны режимы интерактивного, автоматического и полуавтоматического измерений. Инструменты анализа данных с помощью таких графических инструментов, как эллипсы ошибок, остаточные невязки и т. п., доступны в полном объеме. Окно информации о статистической оценке также осталось без изменений. Таким образом пользователям доступен полный набор инструментов ПК Inpho для экспертизы и редактирования уравниваемого блока (рис. 3). Кроме того, реализована новая интересная функция: в окне наглядного монтажа инструмента UAS Measurement можно выделить несколько снимков, и при запуске какого-либо этапа обработки все вычисления будут выполнены только для этих снимков.

Нужно отдать должное разработчикам программы. Даже при наличии в проекте «смазанных» снимков, грубых значений координат центров фотографирования, неполных сведений о камере, небольшой матрице фотоаппарата и неоптимальном распределении опорных точек по площади проекта ожидаемая точность может составить до 0,7 пикселя.

После уравнивания блока можно переходить к этапу создания конечной продукции фотограмметрической обработки: ЦМР, ЦММ и ортомозаик в окне

UAS Edit. Создание моделей высот выполняется по пирамидам изображений, с последовательным уточнением и увеличением степени детализации. При создании ЦМР используются два основных алгоритма отождествления: наименьших квадратов (LSM — least squares matching) и объектно-ориентированный (FBM — feature based matching). При создании ЦМР с различным шагом сетки возможно использование следующих инструментов:

- Detailed — детальная сетка с шагом 27xGSD по уровню 0;
- Smooth — гладкая сетка с шагом 30xGSD по уровню 1;
- Smoother — более гладкая сетка с шагом 30xGSD по уровню 2.

При создании ЦММ используется метод Cost-Based Matching. Возможно автоматическое извлечение цветного облака точек, по которому потом рассчитывается модель высот, с плотностью до точки на пиксель. При этом скорость обработки составляет порядка 3 секунд на снимок, а результирующая точность по высоте — 1–2 пикселя.

Для ЦММ доступны следующие инструменты, позволяющие настроить требуемую результирующую плотность:

- Dense — плотная сетка с шагом три GSD по уровню 0;
- Medium — средняя сетка с шагом три GSD по уровню 1;

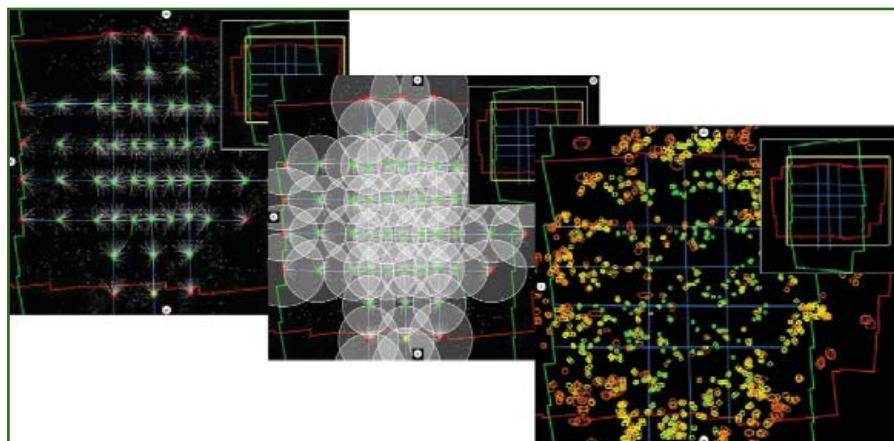


Рис. 3

Оценка качества уравнивания с помощью различных графических инструментов

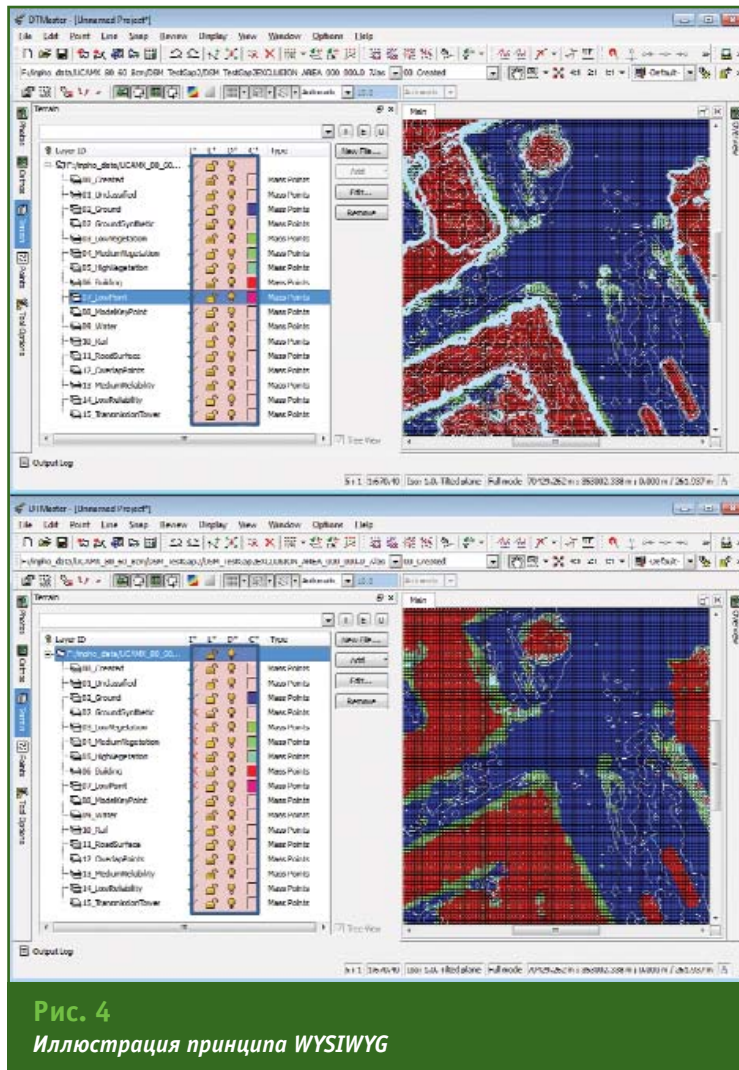


Рис. 4
Иллюстрация принципа WYSIWYG

— Sparse — редкая сетка с шагом три GSD по уровню 2.

В этих инструментах используются уже протестированные в классическом ПК Inpho и доказавшие свою эффективность и надежность алгоритмы интерполяции, фильтрации шумов и выбросов. Кроме того, остались возможности редактирования и оцифровки структурных линий, объектов и т. п. в 3D.

После создания ЦМР формируется ортофотомозаика с автоматическим выравниванием по цветам и возможностью отслеживания и заполнения невидимых областей (для создания истинных ортомозаик). При этом используются многократно протестированные алгоритмы автоматического построения линий шивки на основе объектно-ориентированного подхода. Для

создания выровненной по цвету и интенсивности мозаики радиометрическая коррекция выполняется в автоматическом режиме как для отдельного снимка (удаление бликов, эффектов виньетирования), так и для группы снимков. Скорость обработки составляет порядка 4 секунд на снимок. Реализован очень удобный подход к использованию имеющейся в проекте высотной информации: WYSIWYG (What You See Is What You Get). То есть можно включать/отключать часть информации в ЦМР и оценивать, как это повлияет на конечный результат обработки (рис. 4).

Стоит отметить, что в окне UAS Edit существует функция определения области обработки с помощью полигона произвольной формы.

В программе есть возможность использовать одну из двух стратегий режима Quick Processing («черного ящика»): Full Resolution или Preview. В результате получается уравненный блок, матрица высот и ортомозаика на весь проект. Если проект имеет достаточно полные исходные данные, можно запустить алгоритм Full Resolution. Для получения более грубого и общего решения используется алгоритм Preview.

Безусловно, при наличии соответствующих лицензий, проект можно экспортировать в стандартную среду ПК Inpho для выполнения более сложных операций, на которые в новой программе UASMaster существуют ограничения, например для деления на тайлы цифровых моделей рельефа в DTMT toolkit или ортомозаик в OrthoVista, преобразования форматов моделей высот и т. п.

Подводя итог, хочется еще раз отметить, что программа UASMaster — это отчасти абсолютно новое ПО, нацеленное на решение специфических задач по обработке данных с БПЛА, но в то же время в нем используются все лучшее, проверенное опытом, из существующих решений в ПК Inpho по обработке данных аэрофотосъемки в целом. Несмотря на кажущуюся сложность программы и множество функций, выполнять обработку может практически любой пользователь, даже не имеющий специального фотограмметрического образования.

RESUME

Capabilities on processing the data from unmanned aerial vehicles (UAVs) are introduced for the both full-featured photogrammetric system Inpho and new UASMaster issued at the end of 2013. The UASMaster software inherited the best, proven experience of the existing solutions of the Inpho package to process aerial photosurveying data. However the software has some limitations.