

СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.9

ВАСЮХИН Михаил Иванович

доктор технических наук, профессор, кафедра компьютерных систем и сетей,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины.

Научные интересы: геоинформационные системы оперативного взаимодействия

КАСИМ Аниса Мохаммадовна

кандидат технических наук, докторант, отдел микропроцессорной техники,
Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины

Научные интересы: программное обеспечение и базы данных геоинформационных систем

ДОЛИННЫЙ Василий Владимирович

соискатель, отдел микропроцессорной техники,
Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины
Научные интересы авторов: технологии создания цифровых карт

КАСИМ Масуд Мохаммадович

аспирант, кафедра компьютерных систем и сетей,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины.

Научные интересы: геоинформационные технологии

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных видов данных в геоинформационных системах различного назначения (ГИС РН) [1-6] является пространственно-распределенная информация, носителями которой, в значительной степени, выступают электронные карты. Характерным примером применения отмеченных систем является сфера навигации, мониторинга и управления подвижными объектами наземного базирования, для которой имеется необходимость в крупномасштабных картах контролируемой территории [7-9]. Представленные в векторном или растровом формате, карты являются незаменимой составляющей для решения задач отображения навигационных данных подвижных объектов, представления образа окружающей обстановки в подконтрольном пространстве, каче-

ственного и количественного анализа разнообразных явлений и процессов, изменяющихся с течением времени [4, 10].

В отличие от растровых, векторные карты наделены дополнительными цифровыми свойствами, что позволяет решать более широкую номенклатуру прикладных задач. К сугубо цифровым особенностям векторной карты можно отнести семантическое наполнение, сложную организацию картографических объектов и формат представления информации. В то же время «аналоговые» характеристики цифровой карты охватывают ее математическую основу, код номенклатуры, систему координат, проекцию, легенду и т. п. Как цифровые, так и заимствованные аналоговые спецификации электронных карт определяют их внутреннее

устройство, объем данных, а также методы доступа к данным.

С целью обеспечения полноты отображения тематических данных на экранах ГИС РН преимущество отводится векторному типу карт [1, 3, 5, 6], которые несут в себе всю необходимую для пользователя информацию.

Большую актуальность данные карты имеют также при агропромышленном производстве в современных технологиях земледелия, в частности, для оперативного мониторинга крупных площадей сельскохозяйственных угодий [11-14]. Владение такой информацией дает возможность принимать своевременные решения по эффективному управлению агробиологическим состоянием конкретных участков полей. При этом стоит отметить, что крупномасштабные тематические карты для ГИС РН должны обладать чрезвычайной точностью.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работах [1, 7, 9, 11, 14] доказано, что наиболее эффективным средством сбора цифровой информации в масштабах от 1:25 000 до 1:500 для формирования векторных карт является аэрофотосъемка местности, которая выполняется специальным аэрофотоприбором в виде цифровой камеры, установленной на авиационном носителе, движущемся по заданному маршруту и на указанной высоте. Результаты съемки являются важным источником необходимой многоплановой информации для создания основных и тематических слоев баз картографических данных ГИС РН.

Учитывая вышеизложенное, актуальным направлением исследований на сегодня является разработка автоматизированных средств создания крупномасштабных тематических карт, обеспечивающих функционирование ГИС в разных предметных областях, на основе комплексной обработки данных, полученных в ходе аэрозъемки местности с помощью трехканального сканирующего сенсора, построенного на базе чипов линеек светочувствительных детекторов в составе прибора с зарядной связью (ПЗС) CCD (Charge-coupled device).

В данной статье поставлена задача ликвидировать два существенных недостатка, присущих системам-прототипам отечественного и иностранного производства [1, 3, 5, 9], а именно: вместо картосхем ввести ряд крупномасштабных тематических цифровых карт, ко-

торые в зависимости от контекста прикладной задачи поменно отображаются в динамической сцене реальной обстановки, а вместо зарубежного программного обеспечения предложить отечественную программно-техническую среду [7, 13] обработки скомбинированных данных аэрозъемки объектов местности с использованием сканирующей системы на базе ПЗС-линеек и инерциально-спутникового навигационного комплекса.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Во время использования аэрофотоснимков для создания векторных карт разных масштабов, путем оцифровки растровых сканерных изображений, приведенных к соответствующей форме, следует учитывать системы координат, которые применяются при выполнении аэрофотосъемки [15]. Для обработки изображений, полученных цифровым трехканальным аэрофотосканером, построения модели рельефа и ортоизображения местности предлагается использовать следующие координатные системы:

- координатная система ПЗС-линейки;
- координатная система камеры;
- координатная система самолета;
- геодезическая координатная система местности;
- фотограмметрическая координатная система снимка.

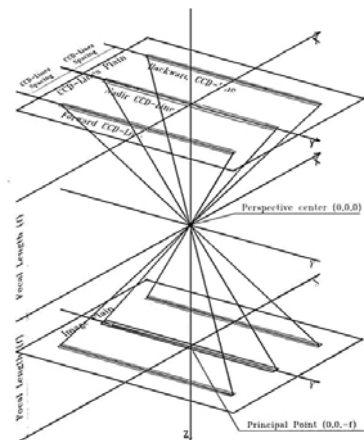


Рис. 1. Система координат камеры с тремя каналами

В связи с этим не лишним будет кратко описать основные свойства перечисленных выше координатных систем и связи между ними, что в дальнейшем облегчит понимание излагаемого метода решения поставленной задачи.

Система координат ПЗС-линейки – одномерная числовая система координат. Ось системы направлена вдоль ПЗС-линейки, начало системы – первый элемент ПЗС-линейки, отсчет начинается с 0, единица измерения – pixel (или элемент).

Система координат камеры – ортогональная трехмерная правосторонняя метрическая система координат, начало которой находится в центре перспективы камеры, рис. 1. Главная Z -ось направлена вдоль оптической оси объектива, Y -ось параллельна ПЗС-линейкам, X -ось дополняет систему. Плоскость ПЗС-линейек CCD-Lines Plain (фокальная плоскость) перпендикулярна к Z -оси. В фокальной плоскости сенсора расположено три линейки детекторов, предназначенные для съемки в надир (Nadir CCD-Line), а также вдоль направления полета вперед (Forward CCD-Line) и назад (Backward CCD-Line). Расстояние между плоскостью ПЗС-линейек и перспективным центром (Perspective center) равняется фокусному расстоянию объектива (Focal Length).

Система координат самолета – ортогональная трехмерная правосторонняя метрическая система координат, рис. 2. Начало системы находится в перспективном центре камеры. X -ось направлена вдоль главной оси самолета по направлению полета, Y -ось горизонтальна и перпендикулярна к направлению полета, Z -ось вертикальна, направлена к зениту (Zenith) и дополняет систему.

Координатные системы самолета и камеры имеют сонаправленные X -оси и противоположно направленные Y - и Z -оси. Переход от системы координат самолета к системе координат камеры и в обратном направлении выполняется вращением на 180° вокруг X -оси.

Геодезическая система координат местности – ортогональная трехмерная правосторонняя метрическая система координат. X -ось направлена на Восток (East), Y -ось направлена на Север (North), Z -ось вертикальна, направлена к зениту и дополняет систему, рис. 2. В качестве геодезической системы координат используется геодезическая система координат Гаусса-Крюгера.

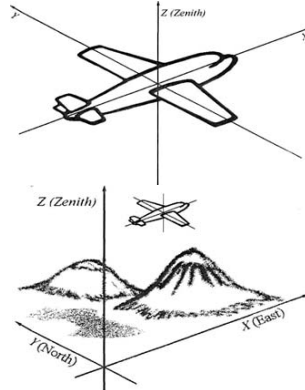


Рис. 2. Система координат самолета и геодезическая система координат местности

Пространственные наклоны самолета и камеры относительно геодезической системы координат показаны на рис. 3. Пространственные наклоны могут быть представлены как последовательная совокупность трех независимых пространственных оборотов. Значения этих оборотов получают с помощью гироскопов инерциального навигационного модуля самолета в системе координат камеры в направлении по часовой стрелке в следующей последовательности – вокруг X -оси (крен Roll), вокруг Y -оси (тангаж Pitch), вокруг Z -оси (курс Yaw). Камера и гироскопы жестко установлены на платформе в хвостовой части самолета.

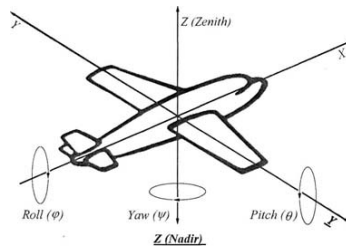


Рис. 3. Наклоны самолета и камеры (направления координатных осей камеры изображены подчеркнутым шрифтом, X -ось – идентична по направлению для самолета и для камеры)

Фотограмметрическая система координат снимка – ортогональная трехмерная правосторонняя метрическая система координат, рис. 4.

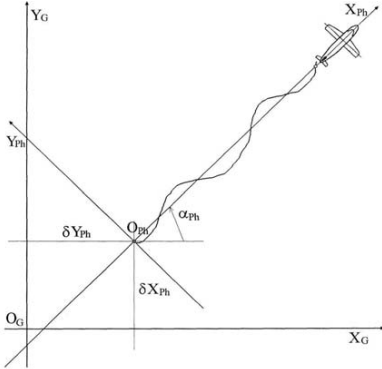


Рис. 4. Фотограмметрическая система координат снимка

X -ось направлена вдоль генерализованного направления полета самолета во время съемки, Y -ось перпендикулярна к ней и лежит в горизонтальной плоскости, Z -ось расположена в вертикальной плоскости, направлена к Зениту и дополняет систему, она параллельна Z -оси геодезической системы координат. Начало координат фотограмметрической системы совпадает с начальной точкой съемки O_{ph} . Как правило, фотограмметрическая система повернута относительно геодезической системы на некоторый угол α_{ph} .

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЦИФРОВОЙ АЭРОСЪЕМКИ МЕСТНОСТИ

Главными фотограмметрическими уравнениями, применяемыми в процессе геопривязки изображений аэроснимков, являются нелинейные уравнения перспективного проецирования, включающие аффинные операции [10, 15, 16] перемещения, вращения и масштабирования. Они представляют соотношение между пространственными координатами точки местности в геодезической системе координат и координатами образа этой точки в плоскости изображения (фокальной плоскости камеры).

Другими словами, по этим уравнениям можно рассчитать координаты образа точки местности в плоскости изображения на основании геодезических координат точки местности, координат центра проекции, углов наклона плоскости изображения и фокусного расстояния объектива камеры, то есть по параметрам внутреннего и внешнего ориентирования камеры. При этом элементы внешнего ориентирования камеры разделяются на две группы: линейные – положение камеры (X_Q, Y_Q, Z_Q) и угловые – наклоны (φ, θ, ψ) в геодезической системе координат.

Главные фотограмметрические уравнения также называют уравнениями прямой фотограмметрической засечки:

$$\begin{aligned} x &= -f \cdot \frac{m_{11} \cdot (X_P - X_Q) + m_{21} \cdot (Y_P - Y_Q) + m_{31} \cdot (Z_P - Z_Q)}{m_{13} \cdot (X_P - X_Q) + m_{23} \cdot (Y_P - Y_Q) + m_{33} \cdot (Z_P - Z_Q)}; \\ y &= -f \cdot \frac{m_{12} \cdot (X_P - X_Q) + m_{22} \cdot (Y_P - Y_Q) + m_{32} \cdot (Z_P - Z_Q)}{m_{13} \cdot (X_P - X_Q) + m_{23} \cdot (Y_P - Y_Q) + m_{33} \cdot (Z_P - Z_Q)}; \end{aligned}$$

где: x, y – положение образа точки местности в фокальной плоскости, X_P, Y_P, Z_P – положение точки местности в геодезической системе координат, X_Q, Y_Q, Z_Q – положение камеры в геодезической системе координат, m_{ij} – направляющие косинусы ($i, j = \overline{1,3}$).

Данные уравнения отображают условие коллинеарности двух лучей – луча, соединяющего центр проекции и точку местности с лучом, соединяющего центр проекции и образ точки местности.

Наклоны камеры в трехмерном пространстве, вызванные наклонами самолета в плоскостях крена, тангажа и курса, могут быть описаны двухмерной 3×3 матрицей направляющих косинусов:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}.$$

Значения элементов m_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$) этой матрицы вычисляются с использованием значений углов, измеренных гироскопами:

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos \varphi \cdot \cos \psi, \\ m_{12} &= \cos \psi \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi - \sin \psi \cdot \cos \varphi, \\ m_{13} &= \cos \psi \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi + \sin \psi \cdot \sin \varphi, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{21} &= \sin \psi \cdot \cos \theta, \\ m_{22} &= \sin \psi \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi + \cos \psi \cdot \cos \varphi, \\ m_{23} &= \sin \psi \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi - \cos \psi \cdot \sin \varphi, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{31} &= -\sin \theta, \\ m_{32} &= \cos \theta \cdot \sin \varphi, \\ m_{33} &= \cos \theta \cdot \cos \varphi, \end{aligned}$$

где φ – угол крена (Roll), θ – угол тангажа (Pitch), ψ – угол курса (Yaw).

Как отмечалось выше, гироскопы представляют пространственное вращение в виде трех независимых последовательных оборотов, соответственно, вокруг X -оси (Roll), потом вокруг Y -оси (Pitch), и после этого вокруг Z -оси (Yaw). Итак, общая 3×3 матрица направляющих косинусов является результатом последовательного перемножения трех матриц размерностью 3×3 :

$$M = M_{Yaw} \cdot M_{Pitch} \cdot M_{Roll}.$$

Каждая из матриц вращения рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} M_{Roll} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}; \\ M_{Pitch} &= \begin{bmatrix} -\sin \theta & 0 & \cos \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \theta & 0 & \sin \theta \end{bmatrix}; \\ M_{Yaw} &= \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Общая матрица трехмерного вращения является матрицей косинусов углов между попарно взятыми осями двух координатных систем с разными углами наклона, которая используется в вычислении положения точки при вращении:

$$M = \begin{bmatrix} \cos(xX) & \cos(yX) & \cos(zX) \\ \cos(xY) & \cos(yY) & \cos(zY) \\ \cos(xZ) & \cos(yZ) & \cos(zZ) \end{bmatrix}.$$

Расчет положения точки пространства при переходе от одной системы координат к другой, отличной от первой определенным наклоном, но с общим началом координат, выполняется согласно следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} x' &= m_{11} \cdot x + m_{12} \cdot y + m_{13} \cdot z, \\ y' &= m_{21} \cdot x + m_{22} \cdot y + m_{23} \cdot z, \\ z' &= m_{31} \cdot x + m_{32} \cdot y + m_{33} \cdot z, \end{aligned}$$

где x, y, z – предыдущее положение точки, x', y', z' – положение точки после вращения, m_{ij} – направляющие косинусы, $i, j = \overline{1,3}$.

Расчет пространственного положения точки местности по двум или больше изображениям является задачей обратной фотограмметрической засечки.

Уравнения проецирования изображения на горизонтальную плоскость получены из главных фотограмметрических уравнений. Они позволяют рассчитать плановое положение (X, Y) каждой точки изображения на определенной горизонтальной плоскости, имеющей заданную высоту ($Z = const$):

$$X_p = X_Q + (Z_p - Z_Q) \cdot \frac{m_{11} \cdot x + m_{12} \cdot y + m_{13} \cdot z}{m_{31} \cdot x + m_{32} \cdot y + m_{33} \cdot z},$$

$$\text{или } X_p = X_Q + (Z_p - Z_Q) \cdot \frac{x'}{y'};$$

$$Y_p = Y_Q + (Z_p - Z_Q) \cdot \frac{m_{21} \cdot x + m_{22} \cdot y + m_{23} \cdot z}{m_{31} \cdot x + m_{32} \cdot y + m_{33} \cdot z},$$

$$\text{или } Y_p = Y_Q + (Z_p - Z_Q) \cdot \frac{y'}{z'}.$$

Здесь: X_p, Y_p – плановое положение точки на плоскости, Z_p – высота плоскости проецирования, x, y, z – положение элемента в системе координат камеры, X_Q, Y_Q, Z_Q – положение камеры в геодезической системе координат, m_{ij} – направляющие косинусы, $i, j = \overline{1,3}$.

Процедура проецирования изображения на горизонтальную плоскость используется при коррекции изображения. Она позволяет частично устранить искажение входных изображений, вызванное неравномерностью движения и случайными наклонами самолета во время съемки.

МЕТОД РЕКТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ УЧАСТКА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА

Во время съемки самолет осуществляет нежелательные колебания в трех плоскостях (крена, тангажа и курса), а это негативным образом влияет на результирующее изображение. Стабилизирующая платформа значительно уменьшает амплитуду низкочастотных угловых колебаний, благодаря работе приводов, и высокочастотных колебаний, благодаря специальным амортизаторам, однако остаточное отклонение все равно является достаточно значительным. Эти колебания должны быть учтены при последующей обработке полученных данных. Это означает, что для каждой строки изображения нужно поставить в соответствие координаты и углы, которые однозначно идентифицируют положение и ориентацию самолета в пространстве во время экспонирования камеры. Современные системы измерения координат, например, «Arplanix» POS AV, отвечают этим требованиям и способны обеспечить эти данные с частотой до 200 Гц.

Характер колебаний, вызывающих геометрические искажения исходного изображения, зависит от типа носителя (самолета). В частности, самолет АН-2, являющийся целесообразным для выполнения аэрофото-съемки площадей небольших размеров в масштабах от 1:10 000 до 1:5 000, из-за типа используемого двигателя и особенностей конструкции, имеет достаточно значительные вибрации в районе 18...22 Гц, которые не могут быть полностью скомпенсированы амортизаторами [15]. Но, имея соответствующие данные от блока инерционных датчиков IMU (Inertial Measuring Unit), можно полностью избавиться от влияния этих колебаний программным методом при пост-обработке изображения, что наглядно демонстрируется на рис. 5.



Рис. 5. Исходное изображение (слева), полученное трёхканальным сканирующим аэросенсором, и ректифицированное изображение (справа)

Процесс очистки изображения от нежелательных шумов с учетом навигационных данных называется ректификацией. Наиболее простым вариантом ректификации является выравнивание изображения с учетом лишь ориентации самолета в пространстве, то есть углов крена, тангажа и курса. Этот метод не дает привязки изображения к реальным координатам, но дает возможность оценить данные радиометрии и разрешающую способность. Кроме того, он не нуждается в наличии навигационного оборудования в форме приемника спутниковых сигналов, так как достаточными данными есть показания трех сенсоров угловой скорости, расположенных в соответствующих плоскостях.

Рассмотрим предложенный метод более детально. Примем следующие условные обозначения:

j – порядковый номер строки исходного изображения;

i – порядковый номер пиксела, отсчитанный от середины ПЗС-линейки;

p – размер пиксела;

f – фокусное расстояние объектива;

φ^r – угол крена (roll);

φ^p – угол тангажа (pitch);

φ^y – угол курса (yaw);

ψ – угол камеры;

x – координата пиксела откорректированного изображения в направлении полета;

y – координата пиксела откорректированного изображения вдоль строки изображения.

Тогда суть предложенного метода сводится к выполнению ряда вычислений:

$$k = \frac{f}{p};$$

$$\text{если } \varphi_j^p + \psi \neq 0, \alpha_j = \arctg \frac{\operatorname{tg} \varphi_j^r}{\operatorname{tg}(\varphi_j^p + \psi)};$$

$$\text{если } \varphi_j^p + \psi = 0, \alpha_j = 90^\circ;$$

$$\beta_j = \alpha_j + \varphi_j^y;$$

$$\gamma_j = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_j^p \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_j^p});$$

$$\Phi_{i,j} = \frac{i}{1 - \frac{i \cdot \operatorname{tg} \gamma_j \cdot \sin \alpha_j}{k}};$$

$$x'_{i,j} = \frac{\Phi_{i,j} \cdot \sin \alpha_j}{\cos^2 \gamma_j} + k \cdot \operatorname{tg} \gamma_j; \quad y'_{i,j} = \frac{\Phi_{i,j} \cdot \cos \alpha_j}{\cos \gamma_j};$$

$$x_{i,j} = j + \frac{k \cdot \sin \psi}{\cos^2 \psi} + x'_{i,j} \cdot \cos \beta_j - y'_{i,j} \cdot \sin \beta_j;$$

$$y_{i,j} = x'_{i,j} \cdot \sin \beta_j + y'_{i,j} \cdot \cos \beta_j.$$

Конечным результатом вычислений являются координаты пикселей откорректированного изображения, которое в дальнейшем поддается геопривязке на основе позиционных данных приемника системы глобального позиционирования GPS (Global Positioning System). Созданное таким образом геопривязанное изображение служит основой для построения крупномасштабной векторной карты участка местности в программной среде Digital [7, 13, 15].

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ АЭРОСЪЕМКИ МЕСТНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИНТЕГРАЦИИ

Процесс построения крупномасштабных электронных карт местности, которые являются важной составляющей информационного обеспечения ГИС РН, предлагается осуществлять в соответствии с разработанной моделью взаимодействия, рис. 6, и созданной на ее основе технологией интеграции программных модулей параллельной обработки данных цифровой аэросъемки местности.

Формальное описание модели можно представить в виде множества программных модулей PM :

$$PM = \{ PM_i \}_{i=1}^8,$$

где PM_i , $i = \overline{1,8}$ – программные модули, представленные на рис. 6 готовыми программными продуктами, или их аналоги по функциональному назначению; i – номер модуля.

В модели выделены два блока (блок первичной обработки полетных данных и блок связывания навигационных данных со строками исходных изображений и коррекции последних), в каждый из которых входят соответственно первые два и последующие три программных модуля из всего множества модулей PM . В рамках каждого блока процессы, выполняющиеся в указанных программных модулях, производят параллельную обработку данных.

Первый модуль предназначен для получения точной траектории камеры 3-DAS-1, информации об изменении углов ее ориентации в пространстве, а также временных меток, необходимых для синхронизации каждого изображения с навигационными данными. На этом этапе используется программный продукт POSpac фирмы Arplanix (Канада), с помощью которого осуществляется пост-обработка навигационных данных. В качестве входных данных на PM_1 поступают.

- первичные навигационные данные комплекса POS AV, включающие данные бортового GPS-приемника, данные инерциального измерительного устройства IMU и дополнительную служебную информацию;
- первичные данные наземной базовой GPS-станции, ее точные координаты и высота приемной антенны.

Результатом работы этого модуля являются два файла – файл с данными расчета координат точной позиции и углов пространственной ориентации самолета на весь период полета с интервалом 0,005 секунды и файл с метками временной синхронизации, которые используются как входные данные модуля PM_3 .

Второй модуль из блока первичной обработки данных аэросъемки извлекает множество триад первичных изображений полос земной поверхности, сформированных соответствующим каналом камеры – заднего, надирного и переднего обзоров, и передает его на вход каждого модуля из второго блока, т.е. на PM_3 ,

PM_4 и PM_5 . В технологии интеграции программных модулей эту функцию выполняет программный продукт DASControl.

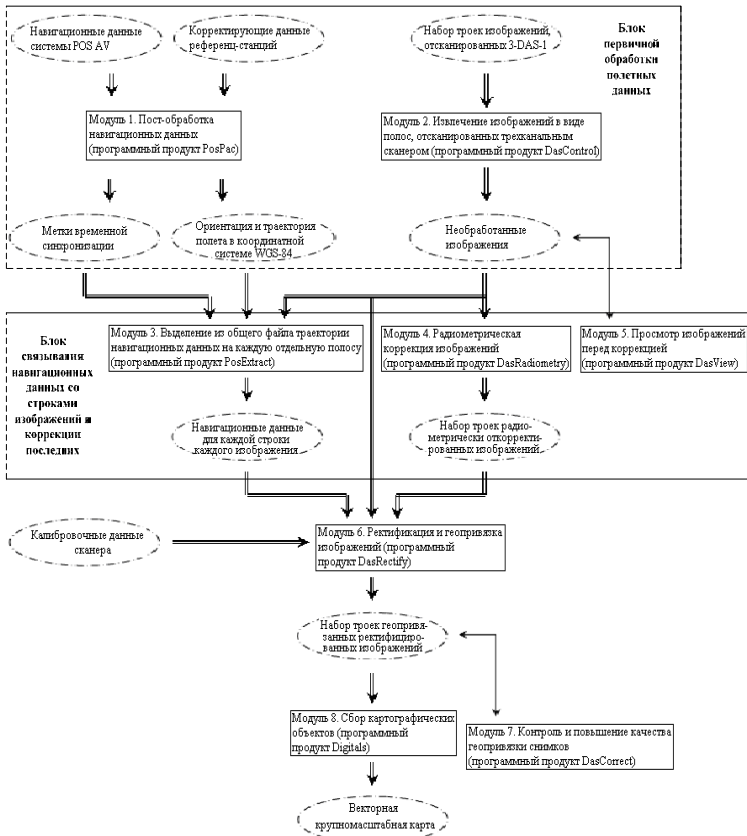


Рис. 6. Схема модели взаимодействия программных модулей, участвующих в обработке аэронавигационных данных и триплетов сканерных изображений участка местности, с целью получения крупномасштабной электронной карты

Оба модуля, представленные в первом блоке, работают независимо друг от друга, но синхронизируют свои выходные данные для передачи их в последующие модули.

Третий модуль на основе файла временных отметок, содержащего GPS-время экспозиции опорных линий изображения, присваивает навигационные данные каждой отдельной полосе отсканированного изображения местности. Этот процесс реализуется с помощью программы POSExtract, которая обеспечивает связывание навигационных данных с отдельным изображением, полученным трехканальным аэросканером 3-DAS-1. При этом методом интерполяции POSExtract

находит в общем файле навигационных данных координаты позиции и углы ориентации для каждой линии и записывает их в файлы атрибутов полос.

В модуле 4 выполняется радиометрическая коррекция первичного изображения, отснятого с помощью сканера 3-DAS-1. Под коррекцией подразумевается выбор оптимальных значений гаммы, контраста и яркости изображения. Для этого используется программа DASRadiometry, которая, опираясь на статистические данные, предлагает соответствующие значения этих параметров.

Принципиальною особенністю модуля являється те, що початкове зображення завжди залишається в неизмінному вигляді, корекція застосовується тільки перед виводом зображення на екран. Це пов'язано з тим, що для сучасних засобів обробки дистанційних даних характерно прагнення зберігати не результати обробки, а вихідні дані та алгоритми, що при необхідності дозволяють швидко воспроизвести необхідний результат.

Паралельно з зміною даних радіометрії необробленого зображення, передбачена можливість його попереднього перегляду, закладена в PM_5 і реалізується програмними засобами DASView.

Логічно об'єднані в другому блоці модулі виконують свої функції в мультизадачному режимі, синхронізують результати своєї роботи перед відправкою в PM_6 .

Получені в попередніх модулях PM_2 , PM_3 і PM_4 проміжні дані, включаючи безпосередньо некоректоване зображення, і калібровочні дані камери використовуються в наступному модулі, що відповідає за ректифікацію та геоприв'язку вхідного зображення. Ці збіжені в єдиному модулі процеси послідовно реалізуються з допомогою програми DASRectify, вихідними даними якої є файл ректифікованого геоприв'язаного кольорового зображення в форматі GeoTIFF (для кожної смуги сканування кожним каналом камери).

Контроль якості геоприв'язки оброблених знімків здійснюється модулем PM_7 , який

технологічно виконано в вигляді програмного продукту DASCorrect, що дає можливість сформувати таблицю зв'язок для кожної смуги та програмним шляхом досягти максимально точного результату.

В модуль PM_8 , призначений для збору картографічних об'єктів, передається геоприв'язане зображення, яке шляхом векторизації перетворюється в векторну великомасштабну карту, що складається з шарів трьох основних типів – полігональних, лінійних і точкових графічних об'єктів.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Таким чином, запропонована модель взаємодії програмних модулів паралельної обробки даних аерозйомки та технологія їх інтеграції, включаючи два логічних блоку, в межах яких виконуються паралельні процеси перетворення навігаційних даних та корекції кожного отсканованого зображення місцевості, що дає можливість отримувати дані, які поступають на модуль послідовної ректифікації та геоприв'язки зображення з наступним представленням можливості контролю якості геоприв'язки, що дозволяють в кінцевому підсумку побудувати великомасштабну векторну карту конкретного ділянки місцевості.

Отримані результати створюють передумову для заміни картосхем, що застосовуються в існуючих системах-прототипах, повноцінними картами, що збільшує інформативність представлення динамічної сцени [1, 4, 6, 10, 16] реальної обстановки в ГИС РН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Vasyukhin M.I., Holovko B.B., Qasem A.M. Navhatsiyno-keruval'ni heoinformatsiyni systemy real'noho chasu: monohrafiya. – Kyiv: Vydavnytstvo TOV «NVP» Interservis», 2015. – 279 s.
2. Palagin O.V., Qasem A.M., Tkachenko O.M., Kasim M.M. Information support for software projects of multidomain geoinformation systems using ontologies, agent-based and calts technologies // Proceedings IX annual scientific conference «Information technology and automation – 2016» (Odessa national academy of food technologies, Odessa, October 11-14, 2016). – Odesa: ONAKhT, 2016. – S. 22–24.
3. Vasyukhin M., Hulevets' V., Qasem A., Boyko O. Heoinformatsiyni komplekxy real'noho chasu dlya vyavlennya i poperedzhennya nadzvychaynykh sytuatsiy na osoblyvo vazhlyvykh ob'yektakh // Suchasni dosyahnennya heodezychnoy nauky ta vyrobnytstva. – 2009. – #1 (17). – S. 238-244.
4. Qasem A.M. Vizualizatsiya navhatsiynnykh danykh riznotypnykh rukhomykh ob'yektiv u heoinformatsiynnykh systemakh podviynoho pryznachennya / A.M. Kasim, M.M. Kasim // Vys'kova osvita i nauka: s'ohodennya ta maybutnye: tezy dopovidey XII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoy konferentsiyi (25 lystopada 2016 r., Kyiv, Ukraina). – K.: VIKNU, 2016. – S. 332–333.

5. Vasyukhin M.I., Zaporozhets' O.I., Hulevets' V.D., Qasem A.M., Chukarina N.M. Problemy kartohrafichnoyi pidtrymky avtomatyzovanoyi systemy kompleksnoho zakhystu aeroportu // Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya. – 2010. – # 3 (31). – S. 30–38.
6. Qasem A.M. Sklad i struktura kliyent-servernoyi systemy modelyuvannya povedinky navihatsiyino-monitornyhovykh kompleksiv zmynnoho pryznachennya / A.M. Kasim // Matematychni mashyny i systemy. – 2016. – # 4. – S.54–67.
7. Vasiukhin M.I., Tkachenko O.M., Kasim A.M., Dolinniy V.V. The aggregation technology of applied software for aerial photography data processing to building map databases in precision agriculture system // Electronics and control systems. – N 1 (43). – 2015. – P.52–58.
8. Kasim M.M. Vysokotochni metody otrymannya suputnykovykh navihatsiynykh danykh dlya zadach pretsyziynoho vodinnya / M. M. Kasim, M. I. Vasyukhin, A. M. Qasem // Naukovyy visnyk Khersons'koyi derzhavnoyi morsk'koyi akademiyi. – 2016. – # 1 (14). – S. 299–309.
9. Tempelmann, U., Borner, A., Chaplin, B., Hinsken, L., Mykhalevych, B., Miller, S., Recke, U., Reulke, R., Ubbing, R. (2000) Photogrammetric software for the LH Systems ADS 40 airborne digital sensor, IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam, pp. 552-559.
10. Qasem A.M. Alhorytmy ta prohramnyy zasib obroby i vidobrazhennya dynamichnykh sten z plavnymy peremishchennamy i transformatsiyamy skladnykh hrafichnykh obraziv rukhomykh ob'yektiv / A.M. Kasim, M.M. Kasim // Vseukrayins'ka naukovo-tekhniczna konferentsiya studentiv ta molodykh vchenykh «Avtomatyka ta elektrotehnika» (17-18 lystopada 2016, Natsional'nyy universytet korablebuduvannya imeni admiral Makarova, m. Mykolayiv). [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/38707.pdf>.
11. Vasyukhin M.I., Tkachenko O.M., Qasem A.M., Dolynnyy V.V., Ivanyk Yu.Yu. Tekhnolohiya otrymannya kartohrafichnykh danykh dlya heoinformatsiynoyi systemy pretsyziynoho zemlerobstva // Problemy informatsiynykh tekhnolohiy. – # 1 (015). – 2014. – S.64–69.
12. Brovarets' O. Rozumni mashyny dlya rozumnykh gospodariv. / O. Brovarets' // Zerno. – 2016. – # 9 (81). – S. 262-266.
13. Vasyukhin M. Metod stvorennya klasyfikatora kartohrafichnoyi informatsiyi dlya ahronomichnykh avtomatyzovanykh system / M. Vasyukhin, A. Qasem, V. Dolynnyy, M. Kasim, V. Shelestovs'kyy, S. Horbatiuk // Zbirnyk materialiv V Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Hlobal'ni ta rehional'ni problemy informatyzatsiyi v suspil'stvi i pryrodokorystuvanni 2017", 22-23 chervnya 2017 roku, NUBiP Ukrainy, Kyiv. – K.: Kompyrnt, 2017. – S. 47-49.
14. Kasim M.M. Proektuvannya ta napovnennya baz danykh HIS lokal'noho zemlerobstva na osnovi dyferentsiatsiyi tematychnykh ob'yektiv i vidnoshen' mizh nymy / M.M. Kasim, A.M. Qasem // Informatsiyni tekhnolohiyi: ekonomika, tekhnika, osvita: Zbirnyk materialiv VII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya molodykh vchenykh (17-18 lystopada 2016 roku, NUBiP Ukrainy, Kyiv). – S. 99–100. [El. resurs] – Rezhym dostupu: https://drive.google.com/file/d/0B9mVDaJa__RLcRlRlWhXSnQzdU0/view.
15. Rozroblennya tsyfrovoyi aerofotokamery: zvit pro NDR (zakl.) XII.12.07. / Derzhavne nauково-vyrobniche pidpryyemstvo „Heosystema”; kerivn. V. B. Hayda; vykon.: S. I. Horbenko [ta in.]. – Vinnytsya, 2007. – 132 s. – # derzhreestratsiyi 0107U006773.
16. Vasyukhin M.I., Qasem A.M., Hulevets' V.D., Boyko O.L., Chukarina N.M. Metody stvorennya dynamichnykh hrafichnykh obraziv pry vyrisnenni zadach vidobrazhennya potochnoyi obstanovky na terytoriyi aeroportu ta prylehlykh do n'oho zonakh // Komp'yuterni systemy ta merezhni tekhnolohiyi (CSNT-2010): zbirnyk tez III Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnicnoyi konferentsiyi. – K.: NAU, 2010. – S. 23.

Рецензент: д.т.н., Вышинский В.А.,
Ведущий научный сотрудник
Института кибернетики
имени В.М. Глушкова НАН Украины