

Крюков Сергей Николаевич – e-mail: SKrjukov@mail.ru; главный научный сотрудник Центра средств интеллектуальной обработки изображений в робототехнических системах специального назначения; к.т.н.

Созинова Мария Владимировна – e-mail: sim-maria@mail.ru; начальник отдела перспективных методов обработки изображений.

Шульженко Петр Константинович – e-mail: shulgenkopk@mail.ru; ведущий научный сотрудник отдела перспективных методов обработки изображений; к.т.н.

Tupikov Vladimir Alekseevich – OJSC "Research and Production Enterprise "Aviation and Marine Electronics"; e-mail: tupikov@nppame.ru; Russia, 198097, Saint Petersburg, str. Marshal Govorov, 29, lit. "O", P.O.B 51; phone: +78123274667; deputy director general; director of research-industrial complex robotic systems special purpose; dr. of eng. sc.; professor.

Pavlova Valeria Anatolyevna – e-mail: pavlova@nppame.ru; deputy director of research-industrial complex robotic systems special purpose R&D; director Center Intellectual image processing tools in RTS SP; cand. of eng. sc.

Krjukov Sergey Nikolaevich – e-mail: SKrjukov@mail.ru; chief researcher Center Intellectual image processing tools in RTS SP; cand. of eng. sc.

Sozinova Maria Vladimirovna – e-mail: sim-maria@mail.ru; head department of perspective methods for image processing.

Shulzhenko Petr Konstantinovich – e-mail: shulgenkopk@mail.ru; leading researcher department of perspective methods for image processing.

УДК 531.383.11

Г.И. Джанджгава, Т.В. Сазонова, М.С. Шелагурова

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И СТРУКТУРА БОРТОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ О РЕЛЬЕФЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены методы формирования и структура бортовой базы данных о рельефе земной поверхности, используемой для обеспечения решения различных авиационных приложений, в том числе экстремальной коррекции навигационных параметров, маловысотного полета, предупреждения столкновения с землей и индикации картографической информации в режимах 3D и с «отмывкой» рельефа. За рубежом для записи матриц рельефа местности (МРМ) наиболее часто используются форматы DEM и DTED. В России формирование МРМ производится на основе использования файлов векторного формата SXF. Предлагаемые авторами методы и алгоритмы формирования МРМ на основе файлов формата SXF основаны на обработке слоя изолиний рельефа, площадных, линейных и точечных объектов, имеющих семантику со значением абсолютной высоты. При этом для построения МРМ используется усовершенствованный авторами метод интерполяции обратно взвешенных расстояний. Также в статье приведены разработанные авторами система записи МРМ двух уровней точности для полярных и неполярных зон Земли, структура бортового формата МРМ, а также алгоритмы преобразования координат для полярных зон. Отличительной особенностью предлагаемой системы записи является кратность значению «2» дискретов записи по долготе для соседних неполярных зон, что позволяет формировать 3D изображение без искажений на стыках зон. В режимах маловысотного полета и индикации опасного сближения с землей авторами предложено формировать на базе МРМ матрицу псевдорельефа местности (МПМ), представляющего собой максимальные значения из сумм рельефа и высотного объектового состава в окрестности неопределенности спутниковой навигационной системы. Для режима индикации с «отмывкой»

рельефа на базе МПМ предложено формировать матрицу оттененного рельефа. Разработанные методы и алгоритмы позволяют создать бортовую базу данных о рельефе на всю Землю для решения всех современных авиационных приложений.

Матрица рельефа местности; бортовой формат; методы интерполяции рельефа; полярные и неполярные зоны Земли; полярная азимутальная эквидистантная проекция; псевдорельеф; отмывка рельефа.

G.I. Dzhandzhgava, T.V. Sazonova, M.S. Shelagurova

METHODS OF CREATION AND STRUCTURE OF AIRBORNE DATABASE ON TERRAIN RELIEF

Methods of creation and structure of airborne database on terrain relief are considered in the article. The database is used for performance of various airborne applications including extreme correction of navigation parameters, low-altitude flight, early ground proximity warning and display of cartographic data in the 3D and relief "shading" modes. The most popular formats for writing terrain relief matrix (TRM) outside Russia are DEM and DTED. In Russia TRMs are created on the basis of SXF (vector format) files. Methods and algorithms of TRM creation by the use of SXF files proposed by the authors are based on processing of relief isoline layer, areal, linear and point objects which have semantics with altitude value. Moreover a method of interpolation of inversely weighted distances improved by the authors is used for creation of TRMs. Также в статье приведены разработанные авторами Systems of TRM writing of two accuracy levels for polar and nonpolar Earth's areas developed by the authors, structure of airborne TRM format are given in the article as well as algorithms of coordinate conversion for polar areas. The feature of the proposed system is that writing discretized are multiple of "2" by longitude for adjacent nonpolar areas that allows of creating 3D images without distortions at area joints. In the low-altitude flight and early ground proximity warning modes the authors proposed to create a pseudorelief matrix (PRM) on the basis of TRM that is a maximum values from relief sums and height object structure in the neighbourhood of satellite navigation system uncertainty. It is proposed to create a shaded relief matrix on the basis of PRM for the relief "shading" mode. Developed methods and algorithms allow for creating an airborne database on Earth's terrain relief for performance of advanced airborne applications.

Terrain relief matrix; airborne format; terrain relief interpolation methods; polar and non-polar Earth's areas; polar azimuth equidistant projection; pseudorelief; relief shading.

В настоящее время бортовые комплексы современных воздушных судов (ВС) обеспечивают решение следующих сложных авиационных приложений, использующих бортовую базу данных о рельефе земной поверхности (РЗП):

- ◆ экстремальная коррекция навигационных параметров по РЗП;
- ◆ формирование предупреждающего сигнала о столкновении с земной поверхностью;
- ◆ обеспечение режима маловысотного полета (МВП) в части формирования опорной траектории с облетом и обходом препятствий;
- ◆ индикация рельефа местности в режиме 3D (синтезированное видение) в режимах взлета, посадки и МВП;
- ◆ индикация рельефа местности с «отмывкой» и выделением «опасных» по столкновению с землей зон.

Матрицы рельефа местности (МРМ) представлены большим набором различных форматов. Наиболее популярным в настоящее время за рубежом является формат DEM – digital elevation modelling – стандарт, установленный Геологической службой США USGS [1]. Формат этот представляет собой матрицу, каждая точка которой характеризуется координатами (широтой и долготой) и высотой. При этом существует несколько типов DEM файлов:

- ◆ номенклатурные листы размером 1 градус по широте и долготы, количество точек 1201*1201 с дискретом 3 секунды по долготы и широте, система координат – WGS 84;

- ◆ номенклатурные листы размером 30 минут по широте и долготе с дискретом 2 секунды, системе координат – WGS 84;
- ◆ номенклатурные листы размером 7.5 минут:
 - в системе координат WGS 84 с дискретом по широте и долготе 30 метров (1 секунда) или дискретом 10 м (1/3 секунды);
 - в проекции UTM с количеством точек 370 x 465.

Также достаточно распространенным является формат DTED (digital terrain elevation data) [2]. Запись информации для данного формата осуществляется в системе координат WGS 84. В соответствии с этим стандартом вся Земля поделена на следующие широтные зоны:

- ◆ зона I 0° -50°;
- ◆ зона II 50° -70°;
- ◆ зона III 70° -75°;
- ◆ зона IV 75° -80°;
- ◆ зона V 80° -90°.

Существует несколько уровней DTED в зависимости от точности представления данных. При этом уровни 0–2 описаны в стандарте Military Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED) MIL-PRF-89020B. Примеры матричных интервалов для уровней 0–2 в зависимости от зоны приведены в табл. 1. Размеры номенклатурных листов 1 градус по широте и долготу.

Таблица 1

Дискреты записи MPM в DTED в зависимости от уровня и зоны

Уровень DTED	0	1	2
Широта, сек	30	3	1
Зона I, долгота, сек	30	3	1
Зона II, долгота, сек	60	6	2
Зона III, долгота, сек	90	9	3
Зона IV, долгота, сек	120	12	4
Зона V, долгота, сек	180	18	6

В Российской Федерации наиболее распространенным является векторный формат SXF [3, 4], из которого средствами ГИС «Панорама» можно подготовить MPM формата MTW.

Однако существующие форматы записи MPM не обеспечивают решение на борту ВС рассмотренных выше авиационных приложений в реальном масштабе времени, а также имеют принципиальные недостатки, влияющие на качество решения задач, связанных с обработкой картографической информации. В связи с этим, авторы проработали вопросы создания бортовой базы данных MPM, включая методы построения MPM из файлов векторного формата SXF, систему записи MPM и структуру бортового формата.

Предлагаемые авторами методы построения MPM из файлов формата SXF основаны на обработке слоя изолиний рельефа, площадных, линейных и точечных объектов, имеющих семантику со значением абсолютной высоты. При этом для построения MPM необходимо воспользоваться методом интерполяции значений высот.

Анализ методов интерполяции, таких как метод обратно взвешенных расстояний (ОВР), метод «Сплайн», метод «Тренд», метод «Кригинг», показал, что наиболее корректные результаты получаются при методе ОВР [5, 6].

Метод ОВР основан на предположении, что чем ближе друг к другу находятся исходные точки, тем ближе их значения. Набор точек, по которым будет осуществляться интерполяция, необходимо выбирать в некоторой окрестности от опре-

деляемой точки. Это достигается следующим образом. Вводится максимальный радиус поиска или количество точек, ближайших по расстоянию от определяемой точки. Затем значению высоты в каждой выбранной точке задается вес, вычисляемый обратно пропорционально расстоянию до определяемой точки. Таким образом, более близкие точки вносят больший вклад в определение интерполируемой высоты по сравнению с более удаленными точками. Ниже приведены основные формульные зависимости метода ОВР [7]:

$$Z(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(x_i, y_i)$$

где $Z(x_0, y_0)$ – значение высоты в искомой точке; $Z(x_i, y_i)$ – значение высоты в опорной точке; λ_i – весовой коэффициент для значения высоты в опорной точке

Весовой коэффициент обратно пропорционален радиусу интерполяции (r), возведенной в степень k :

Подбирается такое значение степени k , при котором средне-квадратическое отклонение (СКО) ошибки интерполяции минимальна. Сумма весов используемых опорных точек должна быть равна единице. Если $k = 0$, вес с расстоянием не будет уменьшаться, а поскольку все веса λ_i одинаковы, то проинтерполированное значение будет равно среднему всех значений данных в окрестности поиска. По мере увеличения значения k веса отдаленных точек будут стремительно уменьшаться. Если значение k слишком высоко, то на интерполяцию окажут влияние только точки, расположенные в непосредственной близости [8]. По результатам проведенных авторами исследований интерполяции методом ОВР с различными значениями k было выбрано $k=2$.

Особенностью предлагаемого алгоритма является то, что при выборе точек для интерполяции использовалась информация о горизонталях рельефа - полилиний, имеющих абсолютную высоту. В разработанном методе при вычислении высоты в ячейке учитывались значения только точек, расположенные по ту же сторону горизонтали, что и определяемая ячейка. При этом достигалось то, что на формирование значения высоты в искомой точке не оказывали влияние точки, принадлежащие соседним горизонталям, как бы близко они не были бы расположены.

Для построения матрицы, соответствующей листу формата SXF, необходимо использовать дополнительные граничащие с интересующим листы формата SXF для правильной интерполяции точек на границе листа.

При разработке системы записи МРМ надо учитывать некоторые ограничения при использовании карт формата SXF в качестве исходных данных для построения МРМ. Карты, крупнее масштаба 1:100000, являются в России закрытыми для общего доступа, поэтому их приобретение и дальнейшее применение в качестве основы для создания МРМ крайне затруднительно. Как известно, чем крупнее масштаб, тем точность карты выше. Исходя из этого в настоящее время самым доступным масштабом, которым можно воспользоваться для создания МРМ, является масштаб 1:100000.

В связи с вышеизложенным МРМ целесообразно хранить в виде файлов, покрывающих площадь размером 30 минут по долготе и 20 минут по широте в соответствии с разграфкой номенклатурных листов формата SXF масштаба 1:100000. При этом необходимо ввести два уровня записи данных. Файлы уровня 2 готовятся из файлов формата SXF масштаба 1:100000 и крупнее или из других форматов с шагом дискретизации 1 секунда (не более 30 м). Файлы уровня 1 готовятся из файлов формата SXF масштаба мельче 1:100000 или других форматов с шагом дискретизации 3 секунды (не более 100 м). Зоны формируются из учета требования кратности двойке отношения дискретов записи по долготе высот рельефа для соседних зон.

Алгоритм формирования зон основан на вычислении длины окружности сечения цилиндра проецирования *mid_line* в цикле для широт от 0° до 84°:

$$mid_line = \frac{\cos(f)*a}{\sqrt{1-e^2*\sin(f)*\sin(f)'}}$$

где a,b – полуоси эллипсоида, константные величины:

a = 6378137.0 (м), b = 6356752.0 (м), f – широта,

e – константная величина, определяемая по формуле:

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

Далее вычисляется метровое значение дискрета:

$$dx = dlm * mid_line,$$

где dx – дискрет в метрах, dlm – дискрет в градусной мере (1 или 3 секунды).

При достижении широты, на которой dx уменьшается вдвое, принимается решение о смене зоны.

Получившиеся зоны и межматричные интервалы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зоны и межматричные интервалы

Зона (в градусах)	По широте (в секундах)		По долготе (в секундах)	
	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 1	Уровень 2
Зона I, 0-60	3	1	3	1
Зона II, 60-75	3	1	6	2
Зона III, 75-80	3	1	12	4
Зона IV, 80-84	3	1	24	8
Зона V, 84-90 (полярная зона)	-	-	-	-

Для неполярных зон получаем базу данных MPM в виде наборов файлов на площадь размером 30 минут по долготе и 20 минут по широте, при этом название файлов содержит краткую информацию о привязке файла к земной поверхности:

N(S)_ _E(W)_ _L_ _A_ , где:

N(S)_ _ – географическая координата широты левого верхнего угла участка, кратного 1 градусу по широте и 1 градусу по долготе. Формат записи: 2 знака, ведущие нули индицируются, диапазон 0-90 градусов. N-North(Север), S-South(Юг).

E(W)_ _ _ – географическая координата долготы левого верхнего угла участка, кратного 1 градусу по широте и 1 градусу по долготе. Формат записи: 3 знака, ведущие нули индицируются, диапазон 0-180 градусов. E-East(Восток), W-West(Запад).

L_ _ – номер листа масштаба 1:100000. L – лист, первый знак обозначает номер листа по оси Y, второй – по оси X. Так как размер номенклатурного листа карты формата SXF масштаба 1:100000 равен 20 минутам по широте и 30 минутам по долготе, то участок размером 1 градус по широте и 1 градус по долготе содержит 6 таких листов (3 по широте * 2 по долготе). Поэтому диапазон изменений первого знака в записи L_ _ : 0-2, второго знака: 0-1.

A_ – уровень записи данных, диапазон изменения 1-2.

Бортовые файлы MPM с целью однозначной идентификации имеют расширение: *.brf (board relief format).

Запись информации в файле начинается со служебной информации, далее записываются кадры размерностью 25x25 ячеек рельефа для уровня 1 и 75x75 ячеек рельефа – для уровня 2. Кадры MPM записываются с перекрытием границ для обеспечения построения 3D полигонов на стыках кадров.

Нумерация кадров в участке картографирования и запись высот в каждом кадре идет по принципу: слева-направо, сверху-вниз.

Каждый файл содержит следующий набор данных: служебную информацию и набор высот, распределенных по кадрам.

Служебная информация файла содержит следующие данные:

- ◆ привязку левого верхнего угла;
- ◆ количество кадров записи по широте и долготе;
- ◆ количество точек в кадре по широте и долготе;
- ◆ размеры дискретов записи по широте и долготе в секундах;
- ◆ минимальную (H_{min}) и максимальную (H_{max}) высоту в файле.

В каждом кадре кроме высот записывается своя служебная информация, используемая при решении некоторых авиационных приложений:

- ◆ минимальная и максимальная высота в кадре;
- ◆ радиус корреляции РЗП;
- ◆ ошибки картографирования в плане и высоте;
- ◆ среднеквадратическое значение РЗП по долготе и широте.

На одно значение высоты в МРМ выделяется 2 байта.

Система записи бортовых карт МРМ для Северной и Южной полярных зон показана на рис. 1. Ось X параллельна меридианам $90^{\circ}E$ и $90^{\circ}W$, ось Y параллельна 0° и $180^{\circ}W$. Оси X и Y условные и не имеют размерностей, значения X и Y определяются номером кадра и соответствующими индексами в самом кадре.

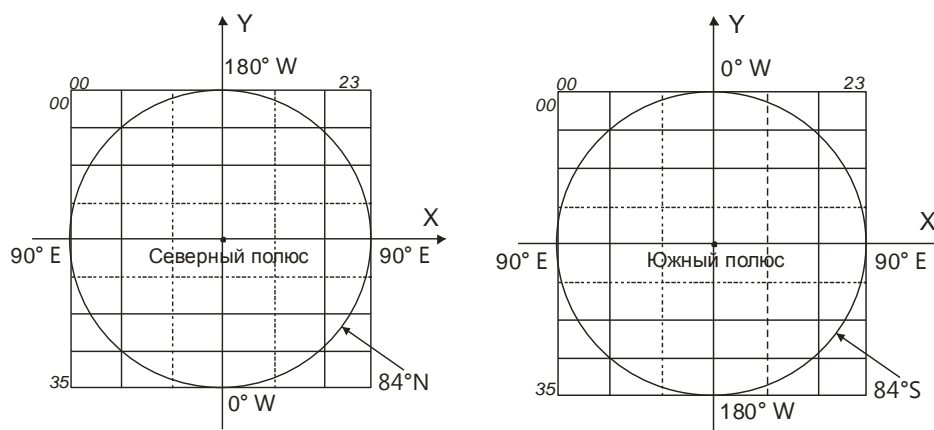


Рис. 1. Система записи бортовых карт Северной (слева) и Южной полярных зон

Для полярных зон получаем БД МРМ в виде следующего наборов файлов: 24 по оси X * 36 по оси Y, при этом название файлов содержит краткую информацию о привязке файла к условной системе координат:

$N(S)X_Y_A_$, где

$N(S)$: N-North (северная полярная зона), S-South (южная полярная зона).

$X_$ – номер файла по оси X. Формат записи: 2 знака, ведущие нули индицируются, диапазон 00–23.

$Y_$ – номер файла по оси Y. Формат записи: 2 знака, ведущие нули индицируются, диапазон 00–35.

$A_$ – уровень записи данных, диапазон изменения 1–2.

Стороны кадров составляют прямые углы с меридианами 0° , $90^{\circ}E$, $180^{\circ}W$ и $90^{\circ}W$. Система записи информации в кадре и количество ячеек матрицы рельефа в кадре совпадают с неполярными зонами: для уровня 1 – 25×25 , для уровня 2 – 75×75 .

При преобразовании координат для Северной и Южной полярных зон используется полярная азимутальная эквидистантная проекция, в которой меридианы – это радиусы, исходящие из полюсов, а параллели как концентрические окружности, центрированные в полюсах. Рис. 2 поясняет преобразования координат для полярных зон.

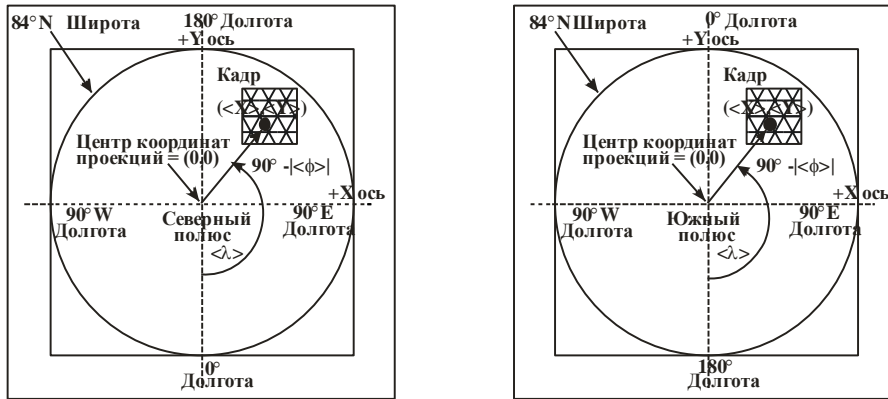


Рис. 2. Преобразования координат Северной (слева) и Южной полярных зон

Преобразования координат из прямоугольной системы в географическую: Если даны координаты точки $\langle X \rangle, \langle Y \rangle$ относительно Северного полюса, ее широта ϕ и долгота λ в градусах рассчитываются следующим образом:

$$\phi = 90^\circ - (d / 3600) * \sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2},$$

$$\lambda = \text{ACOS} \left(\frac{-\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \quad \text{для } \langle X \rangle > 0,$$

$$\lambda = -\text{ACOS} \left(\frac{-\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \quad \text{для } \langle X \rangle < 0$$

$$\lambda = 180^\circ \quad \text{для } [\langle X \rangle = 0 \text{ и } \langle Y \rangle > 0]$$

$$\lambda = 0^\circ \quad \text{для } [\langle X \rangle = 0 \text{ и } \langle Y \rangle \leq 0]$$

$$\text{и} \quad 0^\circ \leq \text{ACOS} \left(\frac{-\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \leq 180^\circ$$

Для Южной полярной зоны данные преобразования имеют следующий вид:

$$\phi = -90^\circ + (d / 3600) * \sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}$$

$$\lambda = \text{ACOS} \left(\frac{\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \quad \text{для } \langle X \rangle > 0$$

$$\lambda = -\text{ACOS} \left(\frac{\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \quad \text{для } \langle X \rangle < 0$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 0^\circ && \text{для } [\langle X \rangle = 0 \text{ и } \langle Y \rangle \geq 0] \\ \lambda &= 180^\circ && \text{для } [\langle X \rangle = 0 \text{ и } \langle Y \rangle < 0] \\ \text{и} &&& 0^\circ \leq \text{ACOS} \left(\frac{\langle Y \rangle}{\sqrt{\langle X \rangle^2 + \langle Y \rangle^2}} \right) \leq 180^\circ \end{aligned}$$

Преобразования координат из географической системы в прямоугольную:

Северная полярная зона. Если даны широта и долгота точки (ϕ, λ) относительно Северного полюса, координаты ($\langle X \rangle, \langle Y \rangle$) рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle X \rangle &= (3600/d) * (90^\circ - \phi) * \text{SIN}(\lambda) \\ \langle Y \rangle &= (-3600/d) * (90^\circ - \phi) * \text{COS}(\lambda), \end{aligned}$$

Южная полярная зона. Если даны широта и долгота точки (ϕ, λ) относительно Южного полюса, координаты ($\langle X \rangle, \langle Y \rangle$) рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle X \rangle &= (3600/d) * (90^\circ + \phi) * \text{SIN}(\lambda) \\ \langle Y \rangle &= (3600/d) * (90^\circ + \phi) * \text{COS}(\lambda). \end{aligned}$$

Базу данных МРМ целесообразно использовать для обеспечения режима синтезированного видения [9–17] и экстремальной коррекции по РЗП [18].

Для обеспечения режима формирования опорной траектории с облетом и обходом препятствий в режиме МВП на базе МРМ формируется матрица псевдорельефа местности (МПМ). Значение высоты псевдорельефа в узловой точке вычисляется как максимальное значение сумм высот рельефа и объектового состава в окрестности неопределенности системы спутниковой навигационной системы (СНС). Учитывая высокие требования по безопасности режима МВП данный вид информации (МПМ) готовится только по файлам МРМ уровня 2. Значение МПМ готовится по 8x9 точкам МРМ (8 – по широте, 9 – по долготе), что примерно соответствует ошибкам СНС ($\pm 3\sigma$ или $\sim 200\text{м}$). МПМ записывается без деления на кадры по принципу слева-направо, сверху-вниз со служебной информацией, аналогичной МРМ. Одно значение псевдорельефа занимает 2 байта.

Подготовленную базу МПМ целесообразно использовать также для режима предупреждения о столкновении с землей [20].

Бортовые файлы МПМ с целью однозначной идентификации имеют расширение: *.bpf (board pseudo format).

Для режима индикации с «отмывкой» рельефа на базе МПМ формируется матрица оттененного рельефа (МОР). Алгоритмы вычисления значения отмывки (Hillshade) достаточно известны, в частности в работе [21] приводится следующая формульная зависимость:

$$\text{Hillshade} = 255.0 * ((\cos(\text{Zenith}) * \cos(\text{Slope})) + (\sin(\text{Zenith}) * \sin(\text{Slope}) * \cos(\text{Azimuth-Aspect}))),$$

где Zenith – угол зенита; Azimuth – угол азимута Солнца; Slope – уклон поверхности; Aspect – экспозиция.

Вычисление уклона и экспозиции проводится с использованием скользящего окна размером 3x3 ячейки МПМ.

МОР записывается без деления на кадры по принципу слева-направо, сверху-вниз без служебной информации. На одно значение отмывки отводится 1 байт. Размерность массива МОР совпадает с размерностью массива МПМ.

Бортовые файлы MOP с целью однозначной идентификации имеют расширение: *.bsf (board shading format).

На рис. 3 и 4 приведены примеры изображений, полученных на основе обработки бортовой базы данных о рельефе.

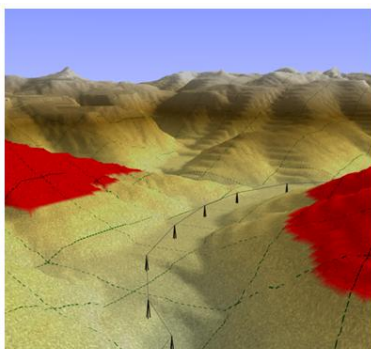


Рис. 3. Изображение рельефа в режиме 3D

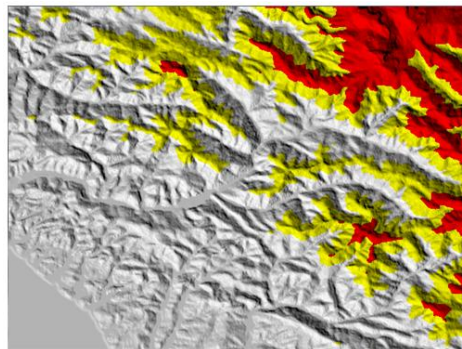


Рис. 4. Изображение рельефа с «отмывкой»

Предложенные методы и алгоритмы позволяют создать бортовую базу данных о рельефе на всю Землю заранее для решения всех современных авиационных приложений, что существенно сократит время предполетной подготовки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Standards for Digital Elevation Models, 01/1998.
2. Military Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED) MIL-PRF-89020B.
3. Панорама. Открытый формат цифровой информации о местности. Структура текстового файла. Код формата – SXF. Редакция 4.0. 1991-2014 гг.
4. Панорама. Векторный формат "SXF". Структура данных в двоичном виде. Редакция 4.0. 1991-2014 гг.
5. *ДеМерс М.Н.* Географические информационные системы. Основы: Пер. с англ. Дата+, 1999. – 288 с.
6. ESRI White paper ArcGis 3D Analyst. 3D визуализация, топографический анализ, построение поверхностей. – 2002. – 14 с.
7. <http://resources.arcgis.com> метод ОВР.
8. <http://racechrono.ru>.
9. DO-315A Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vision Systems, Combined Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems. 9/15/2010.
10. Авиационные системы улучшенного и синтезированного видения (Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников) / Под общей ред. ак. РАН Е.А. Федосова. Составители Ю.В. Визильтер, О.В. Выголов, С.А. Набоков, Ю.В. Павлов, С.Г. Хохлов. ФГУП ГОСНИИАС. – М., 2011.
11. *Павлов Н.В.* Бортовая система технического зрения с расширенными возможностями визуализации // Авиационные системы. – 2011. – № 3.
12. Система синтезированного видения // IEEE Aerosp. and Electron. Syst. Mag. – 1993. – Vol. 8, № 3. – С. 6-13.
13. Система улучшенного видения EVS для самолетов фирмы Гольфстрим Экспресс-информация // Авиационные системы. – 2001. – № 48. – С. 3-4.
14. *Tiana C., Hennessy R., Alter K., Jennings C.* Fused enhanced and synthetic vision systems (EVS/SVS) for low-visibility operations // Proc. SPIE 6559, (2006)
15. *He G., Feyereisen T., Gannon A., Wilson B., Schmitt J., Wyatt S., and Engels J.* Flight Tests of Advanced 3D-PFD with Commercial Flat-Panel Avionics Displays and EGPWS System // Proc. SPIE 5802. – 2005. – P. 177-184

16. He G., Feyereisen T., Wilson B., Wyatt S., and Engels J. Flight Tests of a Hybrid-Centered Integrated 3D // Proc. SPIE 6226. – 2006.
17. He G., Feyereisen T., Conner K., Wyatt S., Engels J., Gannon A., and Wilson B. EGPWS on Synthetic Vision Primary Flight Display // Proc. SPIE 6559. – 2007.
18. Белоглазов И.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. – М.: Наука, 1985.
19. Theunissen E., Koeners G.M., Rademaker R.M., Jinkins R.D. & Etherington T.J. (2005). Terrain following and terrain avoidance with synthetic vision. Proceeding of the 24th Digital Avionics Systems Conference, 4.D.2.1 – 4.D.2.11.
20. Авиация, понятная всем. Система TCAS. Предупреждение столкновений самолетов в воздухе. Опубликовано 24.06.2014 на сайте avia-simply.ru.
21. Burrough P.A. and McDonnell R.A. Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), 1998. – 190 p.

REFERENCES

1. Standards for Digital Elevation Models, 01/1998.
2. Military Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED) MIL-PRF-89020B.
3. Panorama. Otkrytyy format tsifrovoy informatsii o mestnosti. Struktura tekstovogo fayla [The panorama. Open format digital information for the site. The structure of the text file]. Kod formata – SXF. Redaktsiya 4.0. 1991-2014 gg.
4. Panorama. Vektornyy format "SXF". Struktura dannykh v dvoichnom vide [The panorama. Vector format "SXF". The structure of the data in binary form]. Redaktsiya 4.0. 1991-2014 gg.
5. DeMers M.N. Geograficheskie informatsionnye sistemy. Osnovy [eographic information system. The basics]: Per. s angl. Data+, 1999, 288 p.
6. ESRI White paper ArcGis 3D Analyst. 3D vizualizatsiya, topograficheskiy analiz, postroenie poverkhnostey [ESRI White paper ArcGis 3D Analyst extension. 3D visualization, topographic analysis, the structure of surfaces], 2002, 14 p.
7. Available at:<http://resources.arcgis.com> метод OBP.
8. Available at:<http://racechrono.ru>.
9. DO-315A Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vision Systems, Combined Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems. 9/15/2010.
10. Aviatsionnye sistemy uluchshennogo i sintezirovannogo videniya (Analiticheskiy obzor po materialam zarubezhnykh informatsionnykh istochnikov) [Aviation system enhanced and synthetic vision (Analytical review on foreign information sources)], Pod obschey red. ak. RAN E.A. Fedosova. Sostaviteli Yu.V. Vizil'ter, O.V. Vygolov, S.A. Nabokov, Yu.V. Pavlov, S.G. Khokhlov [Under the General editorship of academician RAS E.A. Fedosov. The Drafters Yu.V. Visiter, O.V. Bigalow, S.A. Nabokov, Yu.V. Pavlov, S.G. Khokhlov]. FGUP GOSNIIAS. Moscow, 2011.
11. Pavlov N.V. Bortovaya sistema tekhnicheskogo zreniya s rasshirennymi vozmozhnostyami vizualizatsii [On-Board vision system with advanced visualization], *Aviatsionnye sistemy* [Aviazione system], 2011, No. 3.
12. Sistema sintezirovannogo videniya [The system improved vision for EVS aircraft company Gulfstream Express information], *IEEE Aerosp., and Electron. Syst. Mag.*, 1993, Vol. 8, No. 3, pp. 6-13.
13. Sistema uluchshennogo videniya EVS dlya samoletov firmy Golfstrim Ekspres-informatsiya [The system improved vision for EVS aircraft company Gulfstream Express information], *Aviatsionnye sistemy* [Aviazione system], 2001, No. 48, pp. 3-4.
14. Tiana C., Hennessy R., Alter K., Jennings C. Fused enhanced and synthetic vision systems (EVS/SVS) for low-visibility operations, *Proc. SPIE 6559*, (2006)
15. He G., Feyereisen T., Gannon A., Wilson B., Schmitt J., Wyatt S., and Engels J. Flight Tests of Advanced 3D-PFD with Commercial Flat-Panel Avionics Displays and EGPWS System, *Proc. SPIE 5802*, 2005, pp. 177-184
16. He G., Feyereisen T., Wilson B., Wyatt S., and Engels J. Flight Tests of a Hybrid-Centered Integrated 3D, *Proc. SPIE 6226*, 2006.
17. He G., Feyereisen T., Conner K., Wyatt S., Engels J., Gannon A., and Wilson B. EGPWS on Synthetic Vision Primary Flight Display, *Proc. SPIE 6559*, 2007.

18. *Beloglazov I.N., Dzhandzhgava G.I., Chigin G.P.* Osnovy navigatsii po geofizicheskim polyam [Basic navigation for geophysical fields]. Moscow: Nauka, 1985.
19. *Theunissen E., Koeners G.M., Rademaker R.M., Jinks R.D. & Etherington T.J.* (2005). Terrain following and terrain avoidance with synthetic vision. Proceeding of the 24th Digital Avionics Systems Conference, 4.D.2.1 – 4.D.2.11.
20. Aviatsiya, ponyatnaya vsem. Sistema TCAS. Preduprezhdenie stolknoveniy samoletov v vozdukh. Opublikovano 24.06.2014 na sayte avia-simply.ru [Aviation, understandable to all. TCAS. The prevention of collisions between aircraft in the air. Published 24.06.2014 on the website avia-simply.ru].
21. *Burrough P.A. and McDonell R.A.* Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), 1998, 190 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. М.И. Орехов.

Джанджгава Гиви Ивлианович – ОАО «Раменское Приборостроительное Конструкторское Бюро»; e-mail: rpkb@rpkb.ru; 140103, Московская обл., г. Раменское, ул. Гурьева, 2; тел.: 84964633932; д.т.н.; генеральный конструктор; президент.

Сазонова Татьяна Владимировна – e-mail: tatsazonova@mail.ru; тел.: 89166834878; д.т.н.; главный специалист.

Шелагурова Марина Сергеевна – e-mail: marinashell@mail.ru; тел.: 89166143940; ведущий инженер-программист.

Dzhandzhgava Givi Ivlianovich – JSC “Ramenskoye Design Company”; e-mail: rpkb@rpkb.ru; 2 Gurieva street, Ramenskoye, Moscow Region, 140103; phone: +74964633932; dr. of eng. sc.; president; general designer.

Sazonova Tatiana Vladimirovna – e-mail: tatsazonova@mail.ru; phone: +79166834878; dr. of eng. sc.; principle specialist.

Shelagurova Marina Sergeevna – e-mail: marinashell@mail.ru; phone: +79166143940; leading engineer-programmer.