

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЦИФРОВОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.И. Мифтахутдинов, И.С. Ризаев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), Казань, Россия

В работе рассматривается задача совмещения карты местности и её изображения в различных диапазонах частот для последующего анализа результатов совмещения и поиска отличий. В работе рассмотрены алгоритмы расчета положения значений яркостей преобразованного изображения местности на исходном изображении по навигационным параметрам и по расставленным реперам. В ходе решения поставленной задачи были проведены эксперименты, результаты которых приведены в данной работе.

Ключевые слова: совмещение изображений, цифровые карты местности, обнаружение объектов.

Введение

В настоящее время получение изображения местности различными системами не является целью исследования, так как цифровые карты местности построены достаточно подробно. По результатам исследования необходимо найти новые (ранее неизвестные) объекты в заданном районе местности. Поэтому важной задачей является совмещение карты местности и её изображения в различных диапазонах частот с последующим анализом результатов совмещения и поиска отличий. В ходе работы рассмотрены различные способы совмещения фрагментов изображений в разном спектральном диапазоне относительно цифровой карты местности [1,2].

Математическая постановка

На практике изображения одного и того же объекта или участка местности, полученные в разное время или с помощью различных датчиков, могут значительно различаться одно от другого и от цифровой карты местности (ЦКМ). Отсюда вытекает ряд важных задач совмещения, привязки, а также точной взаимной геометрической и яркостной коррекции для последующего совместного анализа. В любом случае это требует установления соответствия между элементами исходных изображений, что сводится к выделению так называемых опорных (по-другому, реперных или сопряженных) точек на изображениях, по которым можно осуществить координатную привязку снимков с одновременной геометрической коррекцией [4-6]. Осуществить привязку возможно по навигационным параметрам и при помощи поисковых алгоритмов, устанавливающих соответствие между элементами изображений.

Рассмотрим способы совмещения изображения с ЦКМ.

Так как изображение земной поверхности может быть получено на дальностях сотни километров необходимо учесть влияние сферичности Земли [3] (рис. 1). Угол места центра

кадра γ , наклонная дальность до центра кадра ДЦК и высота полёта носителя Н связаны между собой следующим выражением [8]:

$$\sin(\gamma) = \frac{H}{D_{ЦК}} + \frac{D_{ЦК}}{2R_3}, \quad (1)$$

где $R_3=8400$ км - радиус Земли с учетом рефракции. Таким образом, высота носителя относительно центра кадра определяется выражением[8]:

$$H_3 = D_{ЦК} \sin(\gamma) = D_{ЦК} \left(\frac{H}{D_{ЦК}} + \frac{D_{ЦК}}{2R_3} \right) = H + \frac{D_{ЦК}^2}{2R_3}, \quad (2)$$

а приращение точки, соответствующей центру кадра составит[8]:

$$\Delta H = \frac{D_{ЦК}^2}{2R_3}. \quad (3)$$

Влияние сферичности Земли необходимо учитывать при расчёте положения центра зоны обзора, заданного на ЦКМ, а также при пересчётах изображения местности из одной системы координат в другую при выводе изображения на монитор. Влияние сферичности Земли представлено на рисунке 1.

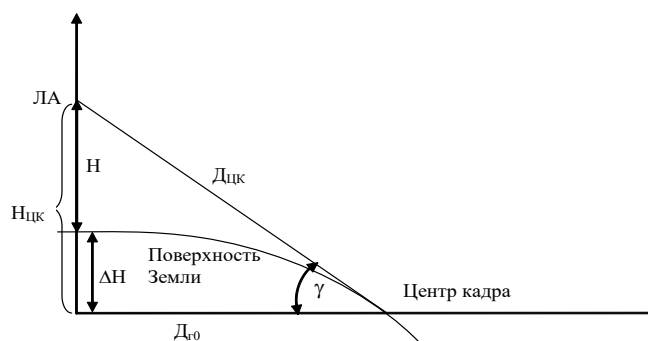


Рис.1. Влияние сферичности Земли

Алгоритм расчета положения значений яркостей преобразованного изображения местности на исходном изображении по навигационным параметрам.

Алгоритм сводится к преобразованию прямоугольного изображения, получаемого в координатах «наклонная дальность – азимут» в полярную систему координат с учетом сферичности Земли. В этой системе координат начало системы координат соответствует положению носителя, угловое положение элементов изображения отсчитывается относительно севера. В результате преобразования изображения из прямоугольной системы координат в полярную на экране формируется изображение виде сектора, представленного на рисунке 2.

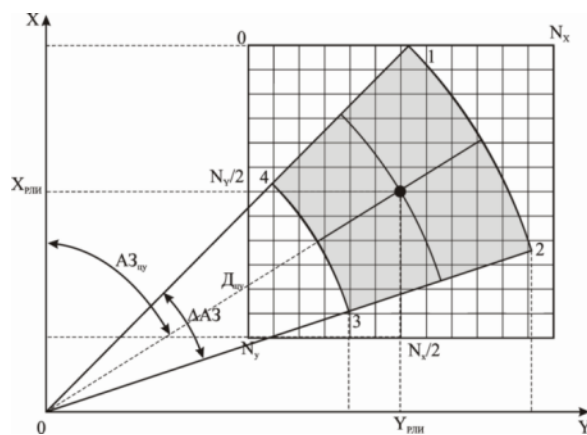


Рис.2. Преобразования изображения из прямоугольной системы координат в полярную.

Для выполнения преобразования каждому экранному пикселю (r, c) рассчитывают точку на земной поверхности с координатами (x, y) этой точке на земной поверхности рассчитывается соответствующая наклонная дальность и азимут цели. Рассчитанным значением азимута и наклонной дальности рассчитываются соответствующие значения номера строки временной интервал на развертке для наблюдения, контроля или последующей обработки) и номера азимутального отсчета. Расчет производится следующим образом [8]:

1) Номер экранного пикселя отсчитывается от верхнего правого угла, соответствующее ему положение на местности:

$$X_{\text{тек}} = X_{II} + \frac{zM}{100} \left(r - \frac{N_x}{2} \right), r \in [1; N_x], \quad (4)$$

$$Y_{\text{тек}} = Y_{II} + \frac{zM}{100} \left(c - \frac{N_y}{2} \right), c \in [1; N_y] \quad (5)$$

2) На основе текущих координат вычисляется текущая горизонтальная дальность до точки (в формуле квадрат дальности):

$$D_{z\text{тек}}^2 = (X_{\text{тек}} - X_{\text{ЛА}})^2 + (Y_{\text{тек}} - Y_{\text{ЛА}})^2, \quad (6)$$

наклонная дальность равна:

$$D_{\text{тек}} = \sqrt{\left(D_{z\text{тек}}^2 + H^2 + \frac{D_{z\text{тек}}^4}{4R_3^2} \right) \frac{R_3}{R_3 - H}} \quad (7)$$

Угловое положение точки в секторе формирования изображения (отсчет ведется от левого угла изображения) равно:

$$A3_{\text{тек норм}} = \arctg 2(x, y) - A3_{\text{ЦУ}} + \frac{\Delta A3_{\text{ЦУ}}}{2} \quad (8)$$

3) Номер отсчета изображения, соответствующий текущей точке равен [8]:

$$N_D = \frac{D_{\text{мек}} - D_{\text{р.лш}}}{\delta D} + \frac{N_{\text{кд}}}{2} ; \quad (9)$$

$$N_{\varphi} = \frac{AZ_{\text{мекнорм}}}{\Delta AZ_{\text{цц}}} N_{AZ} , \quad (10)$$

где ХИ, УИ – координаты центра выбранного участка для формирования изображения в картографической системе координат;

ХЛА, УЛА – координаты носителя в плоской прямоугольной системе координат в метрах;

АЗЦУ - азимут целеуказания относительно направления на север;

ДЦУ - наклонная дальность целеуказания до центра кадра изображения;

Н - высота полёта носителя относительно поверхности Земли;

NX, NY – размеры области отображения картографической информации в пикселах;

Z – разрешение индикатора;

∂D - разрешение изображения по дальности;

НКД - количество каналов дальности;

НАЗ - количество отсчётов изображения по азимуту;

ΔАЗЦУ – размер зоны обзора по азимуту;

МЦКМ – масштаб отображения карты.

Если номер отсчета по дальности или азимуту находится вне пределов имеющихся значений изображения (отсутствует изображение в данной точке местности), то данному пикселю присваивается значение 0.

Рассчитанные значения соответствующих отсчетов изображения являются вещественными числами, в результате преобразованные координаты не попадают чаще всего в узлы дискретной решетки. Поэтому для определения яркости изображения в данной точке экрана необходимо произвести интерполяцию соответствующего значения в массиве «наклонная дальность - азимут» одним из существующих способов.

Алгоритм расчета положения значений яркостей преобразованного изображения местности на исходном изображении по навигационным параметрам.

Расстановка реперов осуществляется оператором вручную. Пример расстановки приведен на рисунке 3. Последовательно расставляя соответствующие реперы на ЦКМ (ХР i, УР i) и изображении местности (ХР И i, УР И i), формируют массивы координат реперов. На основе расставленных k реперов формируются векторы координат реперных точек изображения местности [7]:

$$X_{PH} = (X_{PH1} \quad X_{PH2} \quad \dots \quad X_{PHk})^T, \quad (11)$$

$$Y_{PH} = (Y_{PH1} \quad Y_{PH2} \quad \dots \quad Y_{PHk})^T, \quad (12)$$

и специальная матрица реперных точек ЦКМ Н:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & x_{p1} & y_{p1} & x_{p1}^2 & x_{p1}y_{p1} & y_{p1}^2 \\ 1 & x_{p2} & y_{p2} & x_{p2}^2 & x_{p2}y_{p2} & y_{p2}^2 \\ 1 & x_{p3} & y_{p3} & x_{p3}^2 & x_{p3}y_{p3} & y_{p3}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{pk} & y_{pk} & x_{pk}^2 & x_{pk}y_{pk} & y_{pk}^2 \end{pmatrix} \quad (13)$$

После расстановки реперов и формирования вектора координат точек изображения местности и матрицы точек ЦКМ происходит расчет соответствующей точки изображения для каждого экранного пикселя по формулам[7]:

$$N_d = a_0 + a_1r + a_2c + a_3r^2 + a_4rc + a_5c^2, \quad (14)$$

$$N_\varphi = b_0 + b_1r + b_2c + b_3r^2 + b_4rc + b_5c^2. \quad (15)$$

Параметры преобразований (коэффициенты полиномов) $A = (a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_5)^T$, $B = (b_0 \quad b_1 \quad \dots \quad b_5)^T$ вычисляются как:

$$A = (H^T H)^{-1} H^T X_{PH}, \quad (16)$$

$$B = (H^T H)^{-1} H^T Y_{PH}, \quad (17)$$

где верхний индекс Т означает операцию транспонирования матрицы.

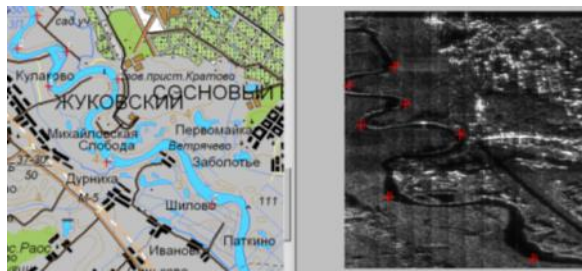


Рис.3. Пример расстановки реперов

Аналогично алгоритму пересчета изображения по навигационным параметрам для получения целочисленных значений отсчетов изображения необходима интерполяция отсчетов [10].

Эксперименты

Рассмотрим совмещение преобразованного изображения местности в заданной системе координат с выбором уровня прозрачности [5-6].

При совмещении преобразованного изображения местности и ЦКМ оператор может выбрать уровень прозрачности слоев изображений α , который варьируется от 0 (полностью прозрачный – отображение только ЦКМ) до 1 (полностью непрозрачный – отображение только изображения местности). Примеры совмещения ЦКМ и изображения местности при различных коэффициентах прозрачности показаны на рисунках 4, а – 4, в. Подбор коэффициента прозрачности зачастую затруднен тем, что при совмещении каждый из слоев мешает отображению другого слоя [9-11]. При большей прозрачности изображения ЦКМ значительно мешает восприятию, а при малой прозрачности затрудняется анализ ЦКМ. Данный режим целесообразен прежде всего при обзоре участков местности, когда детального анализа объектов не требуется. В этом случае отображаются весь объектный состав ЦКМ и существует возможность анализа всего изображения.

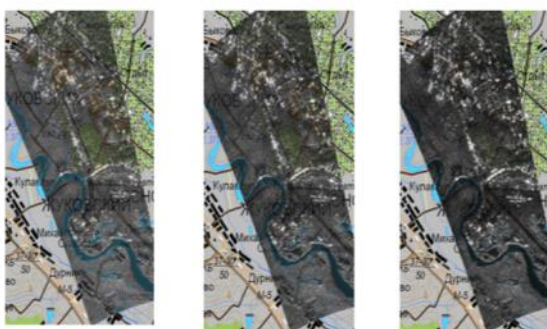
а ($\alpha = 0,7$)б ($\alpha = 0,8$)в ($\alpha = 0,9$)

Рис.4. Примеры совмещения ЦКМ и изображения местности при различных коэффициентах прозрачности

Рассмотрим наложение векторных слоев ЦКМ на преобразованное растровое изображение местности.

В этом случае изображение отображается непрозрачным, а поверх него отображаются слои электронной карты. На рисунках 5а и 5б показаны случаи наложения карты на изображении местности. На рисунке 5б часть слоев, мешающих анализу изображения, не отображается.



а (все слои ЦКМ)

б (часть слоев ЦКМ)

Рис.5. Формирование наложенной карты на изображении местности

Выводы

Для качественного совмещения изображений, получаемых различными обзорными средствами, с картами местности и между собой необходимо устранить линейные и нелинейные искажения изображений, связанные с особенностями функционирования систем. Для устранения искажений целесообразно использование полиномиального преобразования, параметры которого формируются на основе текущих навигационных параметров и характеристик обзорных систем.

При расчете параметров преобразования изображений местности, полученных на значительных дальностях (десятки-сотни километров), необходимо учитывать сферичность Земли. Влияние сферичности Земли необходимо учитывать при расчёте положения центра зоны обзора, заданного на ЦКМ, а также при пересчётах изображения из одной системы координат в другую при выводе изображения на монитор.

При анализе совмещаемой с картами информации о местности возможно уточнение параметров преобразования путем расстановки оператором реперов (опорных точек) и выполнения на их основе дополнительных полиномиальных преобразований.

Литература

1. Абламейко С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение. Учебное пособие / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский // Мн.: Амалфея, 2000.
2. Методы компьютерной обработки изображений. Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Ризаев И.С. Геоинформационные системы: учебное пособие / И.С. Ризаев – Казань: Изд-во Казан.гос.техн.ун-та, 2013. – 139 с.
4. Кирпичников А.П. Решение задачи геопозиционирования методом корреляционного сопоставления / А.П. Кирпичников, Д.И. Мифтахутдинов Д.И., И.С. Ризаев // Вестник Казанского технологического университета. Т18, №3 – 2015 – С.226-228. ISSN 1998-7072
5. Кирпичников А.П. Решение задачи корреляционной привязки изображения и цифровой карты местности / А.П. Кирпичников, Д.И. Мифтахутдинов, И.С. Ризаев // Вестник Казанского технологического университета. Т18, №17 – 2015 – С.186-189. ISSN 1998-7072
6. Мифтахутдинов Д.И. Особенности реализации алгоритмов совмещения изображений с цифровыми картами местности / Д.И. Мифтахутдинов, И.С. Ризаев // Перспективы интеграции науки и практики: Материалы II Международной научно-практической конференции, 27 августа 2015 г.: материалы конференции. - Ставрополь: Логос, 2015. -С. 44-48. ISBN 978-5-905519-03-1
7. Мифтахутдинов Д.И. Уточнение параметров совмещения изображений методом расстановки опорных точек / Д.И. Мифтахутдинов, И.С. Ризаев // Наука третьего тысячелетия: сборник статей Международной научно-практической конференции в 4 ч., 20 января 2016 г., г. Курган: материалы конференции. -Ч.4. - Уфа: АЭТЕРНА, 2016. -С. 51-53. ISBN 978-5-906849-07-6 ч.4
8. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий // Изд-во Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс // М.: Техносфера, 2012.
10. Skiansky J., Recognizing Convex Blobs, Proceedings International Joint Conference on Artificial Intelligence, Walker D. E., Norton L. M., Eds., May 1969, pp. 107-116.
11. М. К., Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, IRE Trans. Inf. Theory, IT-8, 2, 179-187 (February 1962).