

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕОПРИВЯЗКИ И КАЛИБРОВКИ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

О.А. Титова, А.В. Чернов

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева,
Институт систем обработки изображений РАН

Рассматривается один из этапов создания и обновления цифровых карт - геопривязка и калибровка изображений отсканированных топографических планов. Предлагается использовать принятые в России стандарты бумажных карт для поиска пересечений координатных линий с известными физическими координатами. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, состоящее из следующих этапов: поиск внешней и внутренней рамки топоплана, поиск пересечений координатных линий, верификация найденных опорных точек и геометрическая трансформация. Реализация технологии позволяет полностью исключить ручной труд операторов, что экономит от 10 до 20 минут на топоплан.

Введение

Источниками данных в геоинформационных системах (ГИС) являются бумажные топографические карты и планы, данные дистанционного зондирования (аэрофото- и космические снимки), а также данные наземных наблюдений [1]. Для создания и обновления крупномасштабных планов городов основным из них по-прежнему являются бумажные копии топографических планов, процесс перевода которых в цифровую форму включает три основных этапа:

- 1) сканирование бумажного оригинала топоплана (планшета), получение цифрового растрового изображения;
- 2) привязка по опорным точкам (по координатной сетке) и трансформация;
- 3) векторизация.

Привязка карты — это наложение координатной сетки на отсканированное изображение - снимок с бумажной карты. Понятно, что нет необходимости указывать точные географические координаты каждого пикселя на карте. Достаточно указать несколько опорных точек с известными координатами. Второй этап традиционно выполняется с помощью интерактивных программных средств, позволяющих оператору указать на растровом изображении положение опорных точек, а затем выполнить геометрическую трансформацию (обычно используется ортогональный, аффинный, или кусочно-проективный вид преобразования).

Для расчета параметров аффинного преобразования по множеству вручную введенных опорных точек используется минимизация функционала,

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^N [(X_i^f - (a_1 x_i + a_2 y_i + a_3))^2 + \\ + (Y_i^f - (a_4 x_i + a_5 y_i + a_6))^2] \rightarrow \min_{a_j} \end{aligned} \quad (1)$$

$j = \overline{1,6}$,

где a_j - неизвестные параметры, которые находятся методом наименьших квадратов; (x_i, y_i) - координаты опорных точек на растре (получаются при указании оператором точки на изображении мышью); (X_i^f, Y_i^f) - физические координаты опорных точек, значения которых вводятся оператором; ε^2 - среднеквадратическая ошибка преобразования; N - количество опорных точек (не менее 3).

Затраты времени оператора на выполнение этого этапа (от 10 до 20 мин на планшет в зависимости от используемого программного средства и количества вводимых опорных точек) относительно малы по сравнению с затратами на последующую векторизацию. Однако общая высокая трудоемкость вынуждает отказаться от перевода всего бумажного архива в векторный вид. Вместо этого либо создается растровый архив топопланов (третий этап или не выполняется) либо используют частичную векторизацию важнейших типов объектов - зданий и коммуникаций (трудоемкость третьего этапа резко снижается). При этом возрастает количество ежедневно обрабатываемых (пересканируемых с геопривязкой) топопланов - до 20-40 штук в день в крупных городах с необходимостью выделения специальных рабочих мест операторов

Представленная в статье информационная технология автоматического поиска опорных точек и геометрической коррекции изображений позволяет полностью исключить затраты времени оператора на выполнение второго этапа.

1. Общее описание технологии

В России при создании бумажных карт и планов различных масштабов соблюдаются обязательные стандарты и требования [2]. Одним из требований является наличие на планшете (плане) двух рамок - внешней (оформительской) и внутренней (Рис. 1). Внутренняя заключает в себя область собственно карты (50*50 см) и представляет собой прямоугольную рамку черного цвета шириной в несколько пикселей, от которой на заданном расстоянии отстоит

другая рамка, внешняя, прорисованная широкой черной линией (далее по тексту без ограничения общности конкретные значения расстояний приводятся для топопланов масштаба 1:500-1:2000).

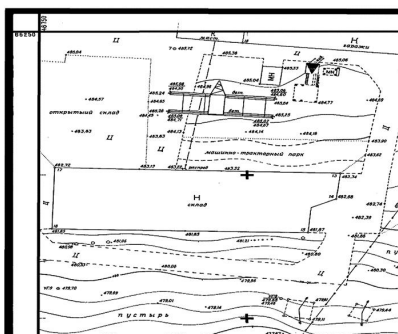


Рис. 1. Часть изображения топографического плана

Кроме того, на планшет наносятся пересечения вертикальных и горизонтальных координатных линий чрез каждые 10 см в виде крестов размера 3 мм на 3 мм - всего 16 внутренних (не примыкающих к рамке) крестов. Рядом с углами внутренней рамки записаны физические координаты этих углов. При ручной геопривязке оператор мышью последовательно указывает положение этих крестов и вводит их известные физические координаты.

Технология автоматической геопривязки состоит из следующих этапов:

- 1) нахождение положения «толстой» внешней и «тонкой» внутренней рамки планшета;
- 2) расчет начальных положений крестов и их уточнение;
- 3) выделение из всего множества крестов набора опорных точек максимальной мощности, найденных с «удовлетворительной точностью»;
- 4) аффинная или иная трансформация с записью выходного изображения и файла привязки.

Исходными данными для геопривязки являются отсканированные (с углом поворота не более чем на 5 градусов) бинарные или полутоновые изображения планшетов с информацией о координатах левого нижнего угла (записанной, например, в имени файла) и значения допустимой ошибки преобразования.

2. Поиск положения внешней и внутренней рамки

Очевидно, основной задачей при разработке технологии геопривязки является поиск пересечений координатных линий (крестов), так как физические координаты этих пересечений легко рассчитываются. Однако кресты могут быть плохо прорисованы (Рис. 2) или пересекаться с пространственными объектами, нанесенными на карту. Всё это не позволяет быть полностью уверенными в результатах поиска крестов без предварительного анализа изображения и уменьшения области поиска.

Предварительный анализ изображения топоплана заключается в нахождении положения широкой внешней рамки, затем «тонкой» внутренней рамки и расчете примерного положения крестов, находящихся на известных расстояниях от углов рамки.

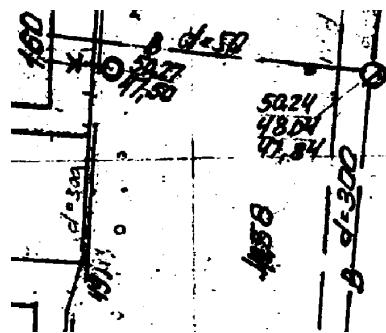


Рис. 2. Пример плохо прорисованного креста

Поиск широкой внешней рамки выполнялся на основе простого коррелятора углов рамки:

$$g(n_1, n_2) = \sum_{(m_1, m_2) \in D} h(m_1, m_2) * f(n_1 + m_1, n_2 + m_2), \tag{2}$$

где $f(n_1, n_2)$ - функция яркости входного сигнала; $h(m_1, m_2)$ - функция яркости эталона; D - некоторая конечная область. За эталон принимается изображение угла (черный угол на белом фоне) в одной из четырех комбинаций в зависимости от того, какой из четырех углов внешней рамки анализируется.

После нахождения всех четырех углов внешней рамки и проверки их взаимного положения легко перейти к внутренней рамке (расстояние между ними на топоплане составляет 14 мм) (Рис. 3), оценить угол поворота планшета и рассчитать приближительные (начальные) положения центров крестов, учитывая известную информацию об их количестве и расстоянии между ними (Рис. 4).

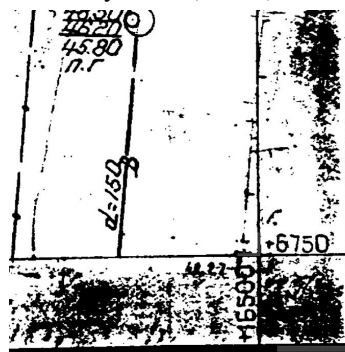


Рис. 3. Пример найденных положений правого нижнего угла внешней и внутренней рамки

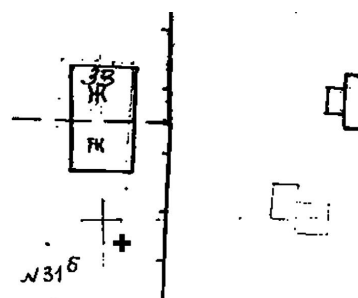


Рис. 4. Пример начального положения креста

3. Уточнение положения крестов

Как показали многочисленные эксперименты, начальные положения крестов от их истинного положения отличаются не более, чем размер самого креста (6 мм). Для их уточнения (поиска истинного положения) минимизируется функционал, учитывающий инвариантность объекта к повороту на углы, кратные 90 градусам (Рис.5, Рис.6). Центр креста определяется следующим образом:

$$(n_1^*, n_2^*) = \arg \min_{(n_1, n_2) \in D} g^*(n_1, n_2), \quad (3)$$

где

$$g^*(n_1, n_2) = \sum_{(m_1, m_2) \in M} g(m_1, m_2, n_1, n_2) = \sum_{(m_1, m_2) \in M} \max \left\{ \begin{array}{l} f(n_1 + m_1, n_2 + m_2), \\ f(n_1 - m_2, n_2 + m_1), \\ f(n_1 - m_1, n_2 - m_2), \\ f(n_1 + m_2, n_2 - m_1), \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Здесь D - область поиска объекта, M - область крестообразной формы толщиной в 3-5 раз больше, чем толщина находимого объекта-креста.



Рис. 5. Исходное изображение (область поиска)



Рис. 6. Значение $g(n_1, n_2, m_1, m_2)$ при (n_1, n_2) , совпадающими с центром креста

После применения указанной процедуры будет найдено 16 точек, предположительно являющихся центрами крестов.

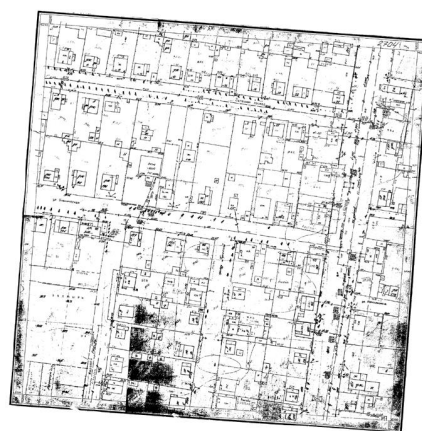
4. Формирование конечного набора крестов и геометрическая трансформация

На результаты работы предыдущего этапа влияет множество негативных факторов: отсутствие или неточность ручного нанесения некоторых крестов, их плохая прорисовка или наличие вблизи крестов черных «клякс», неточность расчета их первоначального положения и пр. С другой стороны, минимально необходимое количество опорных точек для расчета параметров аффинного преобразования равно трем, поэтому существует возможность выбрать подмножество крестов, доставляющего ошибке преобразования значение меньше заданного порога. Для этого используется следующая модификация

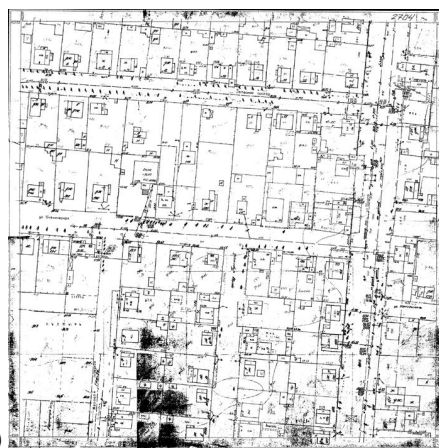
широко известного метода последовательного присоединения [3] состоящая из следующих этапов:

- 1) Выбор начального подмножества не менее 4 опорных точек, ограничив перебор множеством соседних крестов (образующих квадрат размером 10 см);
- 2) Последовательное присоединение остальных точек из подмножества с возможным пересчетом их уточненных положений с уменьшенной областью поиска, пока ошибка преобразования не превышает заданную величину.

В результате обоих этапов будет сформирован конечный набор крестов, по которому затем производится трансформация растра (обычно аффинная или кусочно-линейная), то есть компенсация геометрических искажений, внесенных сканированием (Рис. 7), и запись выходного файла привязки.



а)



б)

Рис. 7. Пример трансформации растра:
а) изображение планшета после сканирования;
б) изображение планшета после нахождения крестов и проведенной на их основе аффинной трансформации

6. Заключение

В данной статье представлена технология автоматического поиска параметров искажений изображений топопланов, что позволяет проводить автоматическую же геометрическую коррекцию.

В настоящее время программное средство проходит опытную эксплуатацию в МП «Архитектур-

но-планировочное бюро» г. Самары, где используется для создания и обновления растрового архива планшетов масштаба 1:500.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)», правительства Самарской области и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF Project RUX0-014-SA-06), РФФИ (гранты № 07-07-

97603-р-офи, № 07-07-97610-р-офи, № 07-01-12070-р-офи).

Литература

1. Под ред. **Тихунова В.С.** Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн.1: Учебное пособие для студ. вузов. // М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
2. **Данилов В.В. и др.**, Геодезия // Данилов В.В., Хренов Л.С., Кожевников Н.П., Кононов Н.С. М.: «Недра», 1974. 416 с.
3. Под ред. **Сойфера В.А.** Методы компьютерной обработки изображений. // М.: Физмалит, 2001. 603 с.

TECHNOLOGY OF AN AUTOMATIC GEOBINDING AND CALIBRATION OF CARTOGRAPHICAL IMAGES

O.A. Titova^{1,2}, A.V. Chernov^{1,2}

¹ *Samara State Aerospace University,*

² *Image Processing Systems Institute of the RAS*

Abstract

We now consider one of the digital-mapping and map-revision phases – geotagging and mapping calibration for scanned topographic plans. It is proposed to use Russian paper-mapping standards to search crossing coordinate lines and existing physical coordinates. We also developed algorithms and software consisting of the following phases: search of outer- and inner edges of topographic plans, crossing coordinate lines, verification of measured network points and geometric transformation. The technology enables to completely eliminate operators' hand labor, which may save from 10 to 20 minutes per topographic plan.

Keywords: geoinformation systems, digital-mapping, topographic plans, automatic geotagging.

Acknowledgements: The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the Development of Scientific Potential in Higher Education (2006-2008) Scientific Program of the Federal Education Agency, the Samara Region Government and U.S. Civilian Research & Development Foundation (CRDF Project RUX0-014-SA-06), and by the Russian Foundation for Basic Research (grants No. 07-07- 97603-r-ofi, No. 07-07-97610-r-ofi, No. 07-01- 12070-r-ofi).

Citation: Titova OA, Chernov AV. Automatic geotagging and mapping calibration technology [In Russian]. *Computer Optics* 2008; 32(1): 85-88.

References

- [1] Basic Geoinformatics: In 2 books. Book 1: Handbook for university-level students. Edited by V.S. Tikunov [In Russian]. Moscow: ACADEMIA Publishing House 2004; 352 p.
- [2] Danilov VV, Khrenov LS, Kozhevnikov NP, Kononov NS. Geodesics [In Russian]. Moscow: Nedra 1974; 416 p.
- [3] Methods of Computer Image Processing. Edited by V.A. Soifer [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher 2001; 6034 p.