

С.И. Суханов

## Оценка точности растровой карты с использованием метода центра неопределенности\*

**Ключевые слова:** растровая карта, метод центра неопределенности, оценка погрешности, средняя квадратическая ошибка отклонения, картографическое смещение.

**Key words:** raster map, uncertainty center method, evaluation error, root mean square error, cartographic displacement.

В настоящее время в землеустроительстве, геодезических измерениях широко применяются растровые карты города Барнаула 1:500, однако точность нахождения объектов на ней не известна.

В статье рассмотрены оценки погрешности данной карты с использованием GPS измерений. Информационные технологии, выбранные нами для оценки погрешности растровой карты, состоят в следующем: на растровой карте необходимо выбрать надежно определяемые точечные объекты при полевых исследованиях, координаты которых можно определить с высокой точностью с использованием GPS измерений. Если  $x_i^{ck}, y_i^{ck}, i = 1..N$  – координаты точек, которые были «сколоты» с растровой карты;  $x_i^{GPS}, y_i^{GPS}, i = 1..N$  – их GPS измерения, тогда оценки точности положения объектов на карте можно оценивать, вычисляя систематические и среднеквадратические ошибки:

$$\begin{aligned} CO_x &= \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^{ck} - x_i^{GPS})}{N}; \\ CO_y &= \frac{\sum_{i=1}^N (y_i^{ck} - y_i^{GPS})}{N}; \\ CKO_x &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^{ck} - x_i^{GPS})^2}{N}}; \\ CKO_y &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i^{ck} - y_i^{GPS})^2}{N}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Однако указанный подход не позволяет выявлять картографические ошибки – смещение, поворот, – которые характерны при оценке точности космических снимков, кроме того, при использовании формулы (1) возникает погрешность установки прибора на опознаваемую точку карты, а при выборе тестовых точек могут встретиться локальные

ошибки, которые не характерны для карты в целом. Более точным способом проверки картографического смещения считаем использование линейных объектов: железнодорожных путей, автомобильных дорог и др. В этом случае достигается надежное совмещение объектов на карте и на местности для GPS измерений и выполняются необходимые предположения для вычисления оценки погрешности согласно формулам (1). Недостатком использования линейных объектов является невозможность точечного совмещения объектов карты и места установки приемника по трассе измерения. В этом случае оценку точности можно производить по результатам аппроксимации линейного объекта на местности, подлежащего GPS измерениям, и его расположению на карте. Построение этих аппроксимаций может быть выполнено методом наименьших квадратов или с использованием нестатистических методов, например метода центра неопределенности [1, 2]. В нашем случае погрешности оценок координат могут быть определены и как интервальные оценки, что обеспечивает применимость метода центра неопределенности, основы которого изложены в работе [1].

Для исследования был выбран участок, расположенный в северо-западной части Барнаула, который включает территорию тепличного хозяйства, магистраль автомобильной дороги и железнодорожные пути. Оценка точности растровой карты проводилась по средней линии железной дороги длиной в 1 км. Измерения проводились в сентябре 2009 г. Координаты тестовых точек определены при помощи спутниковой системы GPS Trimble 5700. Вычисление и уравнивание координат точек выполнены в программе «Trimble Geomatics Office» в местной системе координат. Модуль погрешности взаимного места определения точек съемочного обоснования не превышает 0,03 м. Измерения проводились двумя приемниками по схеме: база–подвижный приемник. Участок растровой карты был предварительно обработан с использованием программы ArcView GIS 3.2a в масштабе 1:500, с наложением его в местную систему координат г. Барнаула.

Проверка положения объектов на карте производилась путем сравнения 8 точек GPS измерения и 26 точек, «сколотых» с раstra по средней линии железной дороги.

Метод оценки погрешности заключался в сравнении оценок осевых линий, построенных по полученным данным. В качестве осевой линии в том и другом случаях была выбрана прямая, а ее построение было проведено по алгоритмам метода центра неопределенности [2]. Результаты вычислений приведены в таблицах 1, 2.

\* Работа выполнена при поддержке ведомственно-аналитической программы «Развитие научного потенциала Высшей школы 2009–2010» (проект №2.2.2.4/4278).

Таблица 1

Исходные данные для моделирования уравнения прямой по GPS точкам

№ п/п	$x_i$	$y_i$	$\bar{\varepsilon}$	$x_i^p$	$y_i^p$
tepl109	13368,31	-2762,55	0,03	13368,34	-2762,54
tepl110	13397,38	-2759,54	0,03	13397,35	-2759,51
tepl111	13478,29	-2751,04	0,03	13478,32	-2751,06
tepl112	13616,66	-2736,60	0,03	13616,69	-2736,61
tepl113	13616,66	-2736,60	0,03	13616,69	-2736,61
tepl114	13763,51	-2721,25	0,03	13763,54	-2721,27
tepl115	13907,02	-2706,30	0,03	13907,05	-2706,29
tepl117	14091,86	-2687,02	0,03	14091,83	-2686,99

При сравнении оценок осевых линий рассматривался процесс построения прямой по GPS точкам:  $y = a_0 + a_1 \cdot x$ , с неизвестными параметрами  $a_0, a_1$ , предполагая, что переменные  $x$  и  $y$  получены с ошибкой измерения. При построении данного уравнения с помощью метода центра неопределенности использовалась следующая схема: ошибки наблюдений координат  $(x, y)$  ограничены по модулю величиной  $\bar{\varepsilon}$ , а множество неопределенности допустимых значений параметров  $a_0, a_1$  в данной схеме записывалось так:

$$A_{\text{GPS}}(k) = \left\{ (a_0, a_1) \mid y_i - k\bar{\varepsilon}_{y_i} \leq a_0 + a_1 x_i^p \leq y_i + k\bar{\varepsilon}_{y_i}; x_i - \bar{\varepsilon}_{x_i} \leq x_i^p \leq x_i + \bar{\varepsilon}_{x_i}, i \in \overline{1,8} \right\}, \quad (2)$$

где  $\bar{\varepsilon}_{x_i} = \bar{\varepsilon}_{y_i} = \bar{\varepsilon} = 0.03$  – оценки модулей ошибок в измеренных значениях  $y_i^p, x_i^p$ , которые принадлежат прямоугольнику со сторонами  $2\bar{\varepsilon}_{x_i} = 2\bar{\varepsilon}_{y_i}$ , в каждом измерении  $i, i \in \overline{1,8}$  (см. табл. 1).

После проведения расчетов были получены следующие коэффициенты прямой:  $a_0 = -4158,44$ ,  $a_1 = 0,104419$ ,  $k_{\min} = 0.95$ .

Построение уравнения прямой по «сколотым» точкам приводилось аналогичным образом, используя метод центра неопределенности для получения оценок коэффициентов  $A_0, A_1$  (см. табл. 2). Были получены следующие коэффициенты прямой:  $A_0 = -4162,74$ ,  $A_1 = 0,104739$ ,  $k_{\min} = 0.9$ . При условии,

Таблица 2

Исходные данные для моделирования уравнения прямой по «сколотым» точкам

№ п/п	$x_i$	$y_i$	$\bar{\varepsilon}$	$x_i^p$	$y_i^p$
1	13655,21	-2732,62	0,16	13655,25	-2732,50
2	13673,26	-2730,74	0,16	13673,30	-2730,61
3	13872,09	-2709,83	0,16	13872,02	-2709,80
4	13619,45	-2736,40	0,16	13619,32	-2736,27
5	13637,33	-2734,51	0,16	13637,31	-2734,38
6	13782,37	-2719,15	0,16	13782,51	-2719,17
7	13980,58	-2698,52	0,16	13980,51	-2698,44
8	13890,11	-2708,03	0,16	13890,04	-2707,91
9	13907,99	-2706,11	0,16	13908,10	-2706,02
10	13505,29	-2748,30	0,16	13505,30	-2748,21
11	13483,22	-2750,38	0,16	13483,36	-2750,51
12	13350,57	-2764,39	0,16	13350,71	-2764,40
13	13356,46	-2763,82	0,16	13356,59	-2763,78
14	13374,56	-2761,79	0,16	13374,70	-2761,89
15	13854,18	-2711,66	0,16	13854,31	-2711,65
16	13709,64	-2726,72	0,16	13709,78	-2726,79
17	13691,43	-2728,77	0,16	13691,55	-2728,70
18	13764,24	-2720,96	0,16	13764,38	-2721,07
19	13368,38	-2762,56	0,16	13368,52	-2762,54
20	13836,21	-2713,40	0,16	13836,35	-2713,54
21	13362,44	-2763,03	0,16	13362,58	-2763,16
22	13392,60	-2759,87	0,16	13392,73	-2760,00
23	13998,54	-2696,69	0,16	13998,48	-2696,55
24	13926,18	-2704,23	0,16	13926,28	-2704,12
25	13944,40	-2702,29	0,16	13944,51	-2702,21
26	13962,53	-2700,40	0,16	13962,64	-2700,31

что погрешность «сколки» осевой линии растровой карте по модулю не превышала 0,16 м.

Для проверки гипотезы о повороте раstra относительно истинных координат рассматривался процесс построения прямой:  $y = A_0 + A_1 \cdot x$  при дополнительных условиях с помощью метода центра неопределенности. Множество неопределенности допустимых значений параметров  $A_0, A_1$  в данной схеме запишется так:

$$A_{\text{скол}}(k) = \left\{ (A_0, A_1) \mid y_i - k\bar{\varepsilon}_{y_i} \leq A_0 + A_1 x_i^p \leq y_i + k\bar{\varepsilon}_{y_i}; x_i - \bar{\varepsilon}_{x_i} \leq x_i^p \leq x_i + \bar{\varepsilon}_{x_i}, i \in \overline{1, 26} \right\}. \quad (3)$$

Гипотеза о равенстве коэффициентов  $a_1 = A_1$  проверялась решением следующей задачи:

$$\begin{aligned} k^* \rightarrow \min k, \\ a, a_1, A_0, A_1 \\ (a_0, a_1) \in A_{GPS}(1), \\ (A_0, A_1) \in A_{\text{скол}}(k), \quad a_1 = A_1. \end{aligned} \quad (4)$$

При условии, что угловые коэффициенты прямых совпадают ( $A_1 = a_1$ ), линейные коэффициенты имели вид:  $A_0 = -4158,34$ ,  $a_0 = -4158,44$ , а оценки модулей ошибок в измеренных значениях  $y_i^p, x_i^p$  не превышали 0,16 м, при этом минимальное значение  $k^*$  в задаче 4 равно 0,997. Приведенные значения показывают согласованность исходных данных и проверяемой гипотезы.

Решение всех задач проводилось в среде Microsoft Excel с использованием инструмента «Поиск решения».

Таким образом, по результатам расчета следует, что погрешность нанесения объектов на растровой карте не превышает 0,16 м, угловые коэффициенты прямых можно считать одинаковыми, картографическое смещение равно 0,1 м. При проведении картографических работ указанную ошибку можно учесть как систематическую. Гипотеза о повороте раstra не подтвердилась.

### Библиографический список

1. Максимов, А.В. Многопользовательские информационные системы: основы теории и методы исследования / А.В. Максимов, Н.М. Оскорбин. – Барнаул, 2005.
2. Оскорбин, Н.М. Пример построения эмпирической модели процесса при ошибках измерения всех перемен-

ных / Н.М. Оскорбин, А.В. Максимов, В.А. Суханов // Исследование эмпирических зависимостей: нестатистический подход / под ред. Н.М. Оскорбина, П.И. Кузьмина. – Барнаул, 2007.