

УДК 528:711

ГЕРМОНОВА Е.А. (ДонНТУ)

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ СКАНЕРОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВВОДА РАСТРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ В КАДАСТРОВЫЕ ГИС

Рассматриваются вопросы по выбору сканерного оборудования для ввода картографической информации в кадастровые геоинформационные системы. Для использования полиграфических планшетных сканеров разработана технология их калибровки и самокалибровки. Использование технологии сканирования карт, планов и ортофотопланов в режиме самокалибровки, позволяет использовать для этих целей недорогие планшетные полиграфические сканеры с потерями в точности, не превышающими точности самого картографического материала; приводит к значительному удешевлению этих работ и делает их доступными широкому кругу пользователей.

Многоаспектность содержания кадастровых работ характеризуется методами получения и обработки данных. Среди различных видов кадастровых работ особое место занимают работы по обеспечению единого информационного описания земельной собственности. Выполнения таких работ ориентировано на новейшие средства автоматизации и автоматизированные кадастровые системы, обеспечивающие сбор, обработку натуральных измерений, описание, учет и регистрацию земельных участков в едином технологическом цикле.

Одним из путей создания единой системы государственного земельного кадастра является разработка автоматизированных кадастровых систем на основе ГИС технологий. Применение сканерной технологии для ввода исходного картографического материала (ИКМ) в рамках любой ГИС приводит к необходимости решения ряда технологических задач, связанных с выбором сканерного оборудования и его исследованиями, с качеством и видом ИКМ и т.п. Для обоснования выбора сканеров, выполнена их классификация (рис.1) по техническим и экономическим показателям.

Высокие требования к геометрической точности сканирования (2–5 мкм) приводят к усложнению механики профессиональных метрических сканеров, к использованию операции метрической самокалибровки. Все это, а так же большие размеры рабочей поверхности сканирования, приводят к следующим недостаткам:

- высокая стоимость;
- конструктивные особенности барабанных сканеров не позволяют сканировать ИКМ на жесткой основе.

Полиграфические сканеры из-за более простой механики высоко автоматизированы, не требуют долгой настройки, более удобны в работе. Стоимость таких сканеров по сравнению с высокоточными значительно ниже. Эти сканеры, как правило, планшетные, позволяет сканировать ИКМ на любой основе. Но из-за простой механики, а также из-за малых размеров рабочей поверхности (форматы А2, А3, А4) такие сканеры имеют ряд недостатков:

- низкая точность сканирования;
- необходимость сканирования ИКМ по частям.

Так как одной из основных задач при создании кадастровых ГИС является снижение стоимости и трудозатрат, то одним из путей их понижения является при-

менение сравнительно недорогого оборудования, например, применение полиграфических планшетных сканеров для получения растровых изображений карт и планов. Поэтому следует считать актуальными исследования недорогого сканеров с целью определения их пригодности для геодезических и землеустроительных нужд и определения влияния технических характеристик сканирования на результат.



Рис. 1. Схема классификации сканеров

Учитывая принцип работы оптико-механического узла планшетного сканера можно разработать его математическую модель, для описания которой вводятся следующие понятия:

— теоретическая система координат сканера — система координат с началом в точке $O_{ск}$ и двумя взаимно-перпендикулярными осями $X_{ск}$ и $Y_{ск}$;

— система координат растрового изображения, полученного в результате сканирования — система координат с началом в точке $O_{рис}$ (верхний левый угол растра) и двумя взаимно-перпендикулярными осями $X_{рис}$ (вправо) и $Y_{рис}$ (вниз);

— система координат сетки-эталона с началом в точке $OЭ$, которая смещена на величины δx_0 и δy_0 относительно начала теоретической системы координат, и двумя взаимно-перпендикулярными осями $xЭ$ и $yЭ$.

Если предположить, что сканер работает безошибочно, то для i -той точки можно записать следующую систему уравнений связи:

$$\begin{cases} x_{ск_1} = x_{з_1} + \delta x_0 \\ y_{ск_1} = y_{з_1} + \delta y_0 \end{cases}, \quad (1)$$

Однако существующие полиграфические сканеры имеют ошибки сканирования, значительная часть которых вызвана нелинейными искажениями, например:

- неприжим сканируемого материала при сканировании;
- поворот осей системы координат сканера в процессе сканирования на некоторые малые углы φ_y и φ_x и их изменение в процессе сканирования;
- различный размер CCD-ячеек на CCD-сенсоре и ряд других факторов.

Способы учета нелинейных деформаций при сканировании можно свести к выбору определенного вида полинома. От вида выбранной функции, числа членов, принятых величин коэффициентов напрямую зависит, насколько полно будут устранены систематические погрешности при сканировании.

Построить математическую модель траектории перемещения CCD-линейки и решить задачу полного исключения систематических погрешностей при наличии случайных погрешностей практически невозможно. Однако можно выбрать такой вид функции, который в результате изменит соотношение между случайными и систематическими погрешностями, т.е. позволит максимально уменьшить влияние систематических погрешностей при минимальном увеличении влияния случайных.

Если предположить, что в некоторый момент времени CCD-линейка переместилась на n_x шагов (рис.2), тогда для точки M , расположенной на расстоянии n_x от начала CCD-линейки, можно записать следующие уравнения связи:

$$\begin{cases} x_{ск} = n_x + \psi_y(n_y) \\ y_{ск} = \xi_y(n_y) + n_x \cdot \psi_x(n_y) \end{cases}, \quad (2)$$

где $\psi_y(n_y)$, $\psi_x(n_y)$ — функции, описывающие закономерности изменения углов φ_y и φ_x , $\xi_y(n_y)$ — функция, описывающая траекторию перемещения CCD-линейки.

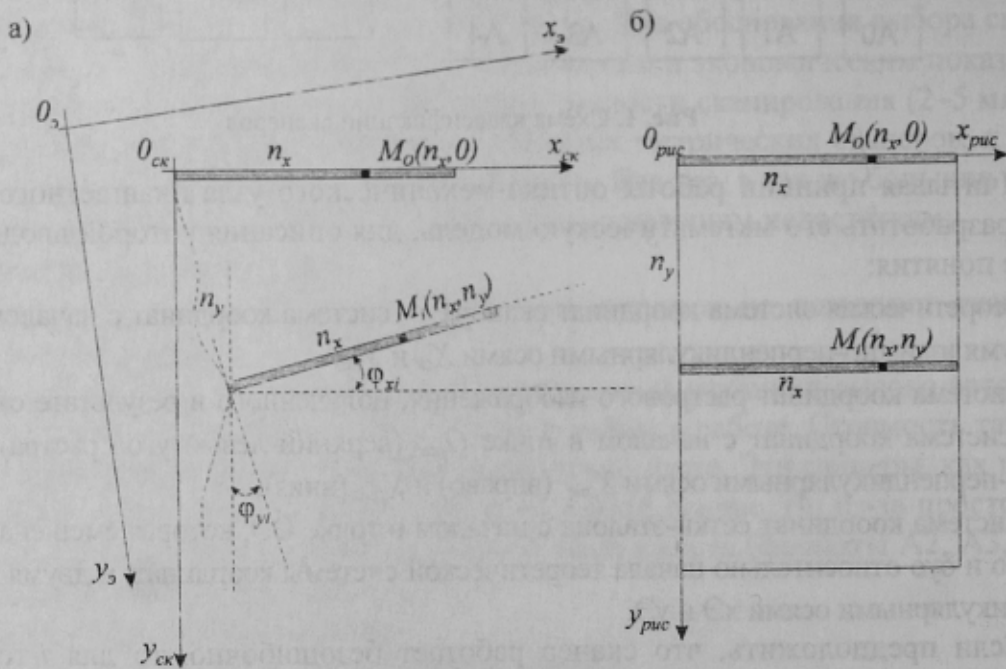


Рис. 2. Схема размещения CCD-линейки в разные моменты сканирования: а — сканирование; б — результат сканирования

Для того, чтобы наиболее полно исключить систематическую погрешность из координат $x_{ск}$ и $y_{ск}$ необходимо выбрать такой вид функций $\psi_y(n_y)$, $\psi_x(n_x)$ и $\xi_y(n_y)$, который в результате будет учитывать систематические искажения как линейного, так и нелинейного характера. Для выбора этих функций в течении месяца выполнялось сканирование сетки-эталона (50 закладок). С помощью манипулятора «мышь» на экране монитора выполнялись измерения координат вершин образа сетки, полученного в результате сканирования. Эталонные значения координат вершин сетки были известны. В результате анализа полученных результатов функции $\psi_y(n_y)$, $\psi_x(n_x)$ и $\xi_y(n_y)$ выбраны в виде полиномов третьей степени.

Тогда для i -той точки уравнения (2.2) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} x_{ски} = n_{xi} + a_1 \cdot n_{yi} + a_2 \cdot n_{yi}^2 + a_3 \cdot n_{yi}^3 \\ y_{ски} = b_1 \cdot n_{yi} + b_2 \cdot n_{yi}^2 + b_3 \cdot n_{yi}^3 + n_{xi} \cdot (c_1 \cdot n_{yi} + c_2 \cdot n_{yi}^2 + c_3 \cdot n_{yi}^3) \end{cases}, \quad (3)$$

где $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ — параметры систематических искажений.

Так как для определения ошибок сканирования применялась сетка-эталон, оси системы координат которой повернуты на некоторый угол относительно теоретической системы координат сканера, а начало смещено на некоторую величину, то с учетом этого систему уравнений (3) можно записать в следующем виде:

$$A \cdot \begin{pmatrix} x_{ск} \\ y_{ск} \end{pmatrix} + D = \begin{pmatrix} x_э \\ y_э \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где D — вектор-столбец свободных членов, A — матрица коэффициентов ортогональных преобразований:

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где a и b — коэффициенты, учитывающие угол поворота системы координат сетки-эталона относительно теоретической системы координат сканера и масштабные коэффициенты.

С учетом (4) и (5) систему уравнений (3) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \theta_0 + \theta_1 \cdot n_{xi} + \theta_2 \cdot n_{yi} + \theta_3 \cdot n_{xi} \cdot n_{yi} + \theta_4 \cdot n_{yi}^2 + \theta_5 \cdot n_{xi} \cdot n_{yi}^2 + \theta_6 \cdot n_{yi}^3 + \\ + \theta_7 \cdot n_{xi} \cdot n_{yi}^3 - x_{эi} = \varepsilon_{xi} \\ \theta_8 + \theta_9 \cdot n_{xi} + \theta_{10} \cdot n_{yi} + \theta_{11} \cdot n_{xi} \cdot n_{yi} + \theta_{12} \cdot n_{yi}^2 + \theta_{13} \cdot n_{xi} \cdot n_{yi}^2 + \\ + \theta_{14} \cdot n_{yi}^3 + \theta_{15} \cdot n_{xi} \cdot n_{yi}^3 - y_{эi} = \varepsilon_{yi} \end{cases}, \quad (6)$$

где $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}$ — параметры систематических линейных искажений; $\theta_3, \dots, \theta_7, \theta_{11}, \dots, \theta_{15}$ — параметры систематических нелинейных искажений; $x_{эi}, y_{эi}$ — эталонные координаты узла i ; n_{xi}, n_{yi} — измеренные координаты i -того узла; $\varepsilon_{ix}, \varepsilon_{iy}$ — невязки, обусловленные погрешностями сканирования и измерениями координат.

Для n связующих точек уравнение (6) можно написать в матричном виде:

$$B\Theta + L = V, \quad (7)$$

где V и L — матрицы-столбцы порядка n ; Θ — матрица-столбец порядка k ; B — матрица коэффициентов при соответствующих неизвестных порядка $n \times k$ ($k=16$); n — количество эталонных точек.

Имея математическую модель полиграфических планшетных сканеров и возможность автоматизации распознавания вершин сетки-эталона [3] были проведены тестирования полиграфических планшетных сканеров. Выявлено, что их работа не стабильна, т.е. для максимального исключения из растровой карты ошибок сканирования необходимо организовать работу сканеров в режиме самокалибровки.

Вычисленные по формуле (7) параметры калибровки Θ содержат искажения, вызванные случайными ошибками измерений контрольных перекрестий, поэтому в ошибках исправленных координат любой точки содержится доля, обусловленная погрешностями этих параметров, которую можно назвать ошибкой калибровки. Ошибка калибровки зависит от числа и распределения контрольных точек по полю сканирования. На рис.3 показаны изображения поверхностей, отметки которых равны линейным средним квадратическим величинам ошибок калибровки m_i в точках поля сканирования для двух вариантов расположения контрольных вершин сетки-эталона. При построении поверхностей значения m_i вычислялись по формуле:

$$m_i = \mu \sqrt{F_{xi}^T Q F_{xi} + F_{yi}^T Q F_{yi}}, \quad (8)$$

где Q — ковариационная матрица параметров θ_i , вычисляемая при решении системы уравнений (7) методом наименьших квадратов; F_{xi}, F_{yi} — векторы коэффициентов перед параметрами, соответственно первого и второго уравнений системы (6).

Наименьшая ошибка калибровки достигается при расположении контрольных точек по всему полю сканирования (рис.3, а), однако это сложно обеспечить и перекрестия могут закрывать важные элементы изображения.

Для самокалибровки сканера обоснован выбор оптимального варианта сетки-эталона, для чего были сделаны следующие предположения:

— систематические погрешности сканера аппроксимируются функциями (6), которые позволяют добиться существенного повышения точности результатов сканирования;

— случайные ошибки планового положения ее вершин имеют нормальное распределение и не коррелированы между собой.

Варианты оптимизации построены следующим образом:

— выбираются точки с близкими к максимальным значениям ошибок калибровки, и формируется новый план;

— для нового плана вновь определяют ошибки калибровки и планового положения вершин и выбираются точки с максимальными ошибками калибровки и т.д.

Выбор оптимальной сетки осуществлялся для полиграфического сканера с размером рабочей поверхности сканирования 210x300 мм, т.е. начальный вариант сетки имел 1768 вершин. На первом шаге оптимизации количество вершин сократилось почти в 5 раз (328 вершины). Для выбора оптимального плана исследованы следующие варианты планов сетки-эталона:

1. начальный план — сетка-эталон с шагом вершин 5 мм, полностью покрывающая рабочую поверхность сканера;
2. два ряда крестов по периметру рабочей поверхности сканера, шаг 5 мм;
3. один ряд крестов по периметру рабочей поверхности сканера, шаг 5 мм;

4. один ряд крестов по периметру рабочей поверхности сканера, шаг 10 мм;
5. один ряд крестов по периметру рабочей поверхности сканера, шаг 20 мм.

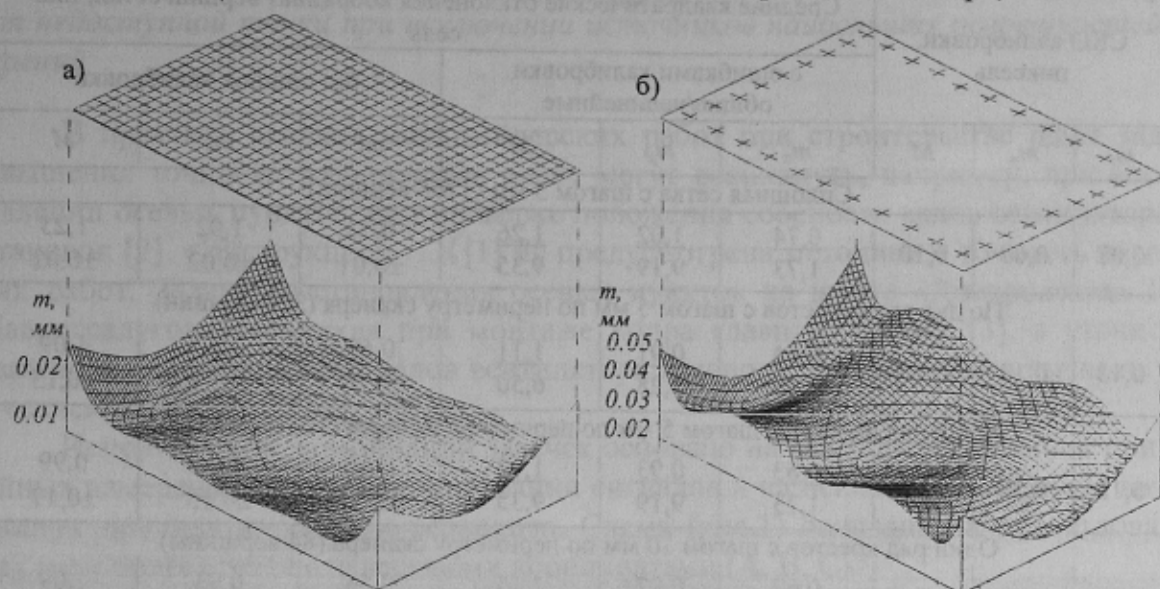


Рис. 3. Ошибки калибровки сканера при различном числе расположения контрольных точек: *а* — 1768 вершин; *б* — 84 вершины

По всем вариантам сетки-эталона вычислялись средние квадратические ошибки калибровки, средние квадратические ошибки отклонений координат вершин сетки с учетом ошибок калибровки и без них (таблица).

Для реализации самокалибровки при сканировании сетка-эталон должна быть создана непосредственно на рабочей поверхности сканера. Чем меньше она будет иметь вершин, тем меньше будет затрачено времени на ее создание и определение эталонных значений координат. Поэтому, выбор оптимального варианта сетки эталона выполнялся при выполнении условий:

- минимизация ошибок калибровки и величин отклонений координат от эталона;
- минимизации количества вершин сетки-эталона.

Анализ вариантов расположения контрольных точек (таблица) показал, что оптимальным с точки зрения потерь точности и затрат на калибровку является случай, показанный на рис.3, *б*.

Контрольные точки достаточно нанести по периметру рабочей поверхности сканера в виде ряда крестов с шагом 10 мм, эталонные значения координат которых можно определить, например, с помощью координатографа фотограмметрического приборов.

Технология сканирования картографических материалов в режиме самокалибровки позволила:

- исключать систематические ошибки в процессе сканирования;
- определять стабильность работы сканера;
- значительно уменьшить число эталонных точек, что сокращает время их обработки;
- вычислять вектор параметров Θ в системе уравнений (7) при каждом сканировании, что позволяет учитывать нестабильность работы сканера.

Таблица. Выбор оптимального плана сетки-эталона для самокалибровки сканеров

СКО калибровки, пиксель			Средние квадратические отклонения координат вершин сетки, пиксель					
			с ошибками калибровки общие/нелинейные			без ошибок калибровки		
m_x	m_y	M	m_x	m_y	M	m_x	m_y	M
Сплошная сетка с шагом 5 мм (1768 вершин)								
0,07	0,07	0,10	$\frac{0,74}{1,73}$	$\frac{1,02}{9,19}$	$\frac{1,26}{9,35}$	0,73 $\pm 0,01$	1,02 $\pm 0,02$	1,25 $\pm 0,02$
По два ряда крестов с шагом 5 мм по периметру сканера (328 вершин)								
0,13	0,13	0,19	$\frac{0,64}{3,79}$	$\frac{0,91}{5,28}$	$\frac{1,11}{6,50}$	0,63 $\pm 0,09$	0,90 $\pm 0,12$	1,09 $\pm 0,15$
Один ряд крестов с шагом 5 мм по периметру сканера (162 вершины)								
0,18	0,18	0,26	$\frac{0,63}{1,73}$	$\frac{0,93}{9,19}$	$\frac{1,12}{9,35}$	0,60 $\pm 0,12$	0,91 $\pm 0,15$	0,99 $\pm 0,17$
Один ряд крестов с шагом 10 мм по периметру сканера (84 вершины)								
0,26	0,26	0,36	$\frac{0,62}{4,76}$	$\frac{0,97}{4,93}$	$\frac{1,15}{6,85}$	0,56 $\pm 0,14$	0,93 $\pm 0,24$	1,09 $\pm 0,28$
Один ряд крестов с шагом 20 мм по периметру сканера (48 вершин)								
0,37	0,37	0,52	$\frac{0,62}{12,9}$	$\frac{0,98}{37,7}$	$\frac{1,15}{39,8}$	0,50 $\pm 0,08$	0,91 $\pm 0,34$	1,01 $\pm 0,38$

Использование технологии сканирования карт, планов и ортофотопланов в режиме самокалибровки, позволяет использовать для этих целей недорогие планшетные полиграфические сканеры с потерями в точности, не превышающими точности самого картографического материала; приводит к значительному удешевлению этих работ и делает их доступными широкому кругу пользователей.

Библиографический список

1. Гермонова Е.А. Калибровка планшетных сканеров // Придніпровський науковий вісник. Днепропетровск, 1998. — №118–119 (185–186). — С.38–41.
2. Гермонова К.О. Технологія одержання растрових карт і планів // Вісник геодезії та картографії. — 1999. — №1(12). — С.45–48.
3. Гермонова Е.А. Автоматизация процесса калибровки сканера / Наукові праці ДонДТУ. Серія 23: гірнична геологія. — Донецьк: ДонДТУ, 2000. — №2. — С.91–94.

© Гермонова Е.А., 2001

УДК 622.1:528.02: 69.057.1

ХАЛИМЕНДИК Ю. М., ТРЕТЬЯК А. В., (НГА Украины)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНАЦИИ ЗАСЕЧЕК ПРИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ

Выполнен анализ проблемы повышения точности маркшейдерских работ при выполнении маркшейдерского обслуживания вентиляторов главного проветривания, копровых зданий шахт Западного Донбасса. Предложен новый для горнодобывающих предприятий метод маркшейдерских работ при высокоточном монтаже от-