УДК 528.14

В.В. Зиборов,
канд. техн. наук, доцент кафедры геоинформатики и фотограмметрии, Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ВЫЯВЛЕНИЕ ГРУБЫХ ОШИБОК В ЗАДАЧЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ ФОРМУЛЫ

Предложен контроль грубых ошибок в задаче преобразования координат по способу Гельмерта. При поступлении на вход информационной системы очередной четвёрки координат генерируется два уравнения поправок. Обратную матрицу новой системы нормальных уравнений предлагается искать на основе предыдущей обратной матрицы по рекуррентной формуле Шермана – Морриса. Грубая ошибка выявляется при анализе очередного вектора поправок. Если максимальная по модулю поправка оказывается большей некоторого ценза, то последняя четвёрка координат вводимой точки бракуется. Приведен численный пример решения задачи.

Ключевые слова: *обработка результатов измерений, метод наименьших квадратов, уравнивание параметрическим способом, рекуррентное уравнивание, последовательное уравнивание, recursive least squares, выявление грубых ошибок измерений.*

Постановка проблемы и обзор публикаций. Суть рекуррентного уравнивания (его ещё называют последовательным, а также рекурсивным – recursiv eleast squares) состоит в следующем. На вход некой информационной системы поступают данные измерений, они обрабатываются по методу наименьших квадратов. Каждое новое измерение с номером $i+1$ порождает новое уравнение поправок с новой строкой матрицы уравнений поправок. В задаче преобразования координат по способу Гельмерта для двумерного случая на вход системы поступает четвёрка координат, при этом две координаты из них получают поправку. То есть генерируются ровно два уравнения поправок. Этим двум уравнениям соответствуют две строки матрицы уравнений поправок a_{i+1}. Соответственно, приходится составлять новую систему нормальных уравнений, причём матрица этой новой системы $N_{i+1} = N_i + a_{i+1}^T a_{i+1}$ каждый раз подлежит обращению. Рекуррентное уравнивание предполагает нахождение новой обратной матрицы N_{i+1}^{-1} на основе предыдущей N_i^{-1}, выполняя как бы уточнение предыдущей обратной матрицы. Матричное тождество, которое показывает, как изменяется обратная матрица при изменении самой матрицы, обычно называют [1, с. 158] формулой Шермана – Морриса. Из этой формулы следует частный случай следующего вида:

$$N_{i+1}^{-1} = N_i^{-1} - N_i^{-1} \cdot a_{i+1}^T \cdot (E + a_{i+1} \cdot N_i^{-1} \cdot a_{i+1}^T)^{-1} \cdot a_{i+1} \cdot N_i^{-1}. \quad (1)$$

Здесь E – единичная матрица. В этой формуле выражение в скобках представляет собой диагональную матрицу, то есть её обращение сводится к нахождению обратных чисел к диагональным элементам. Рекуррентную формулу (1) использовали профессора Ю.И. Маркузе [2; 3], М.Д. Герасименко [4] для проектирования геодезических сетей, их уравнивания, уравнивания геодезических сетей с учётом исходных данных, для контроля и поиска возможных грубых ошибок измерений и исходных данных, для анализа деформаций геодезических пунктов и пр.

© В.В. Зиборов, 2014

Цель исследования. Мы использовали рекуррентную формулу в задаче преобразования координат по способу Гельмерта для выявления грубых ошибок при вводе данных. При этом после нахождения очередного вектора неизвестных параметров преобразования и вектора поправок мы предлагаем сравнивать максимальную по модулю поправку с некоторым цензом. Величина ценза может быть назначена из каких-либо практических соображений. Можно, например, ценз принять равным двум допустимым средним квадратическим ошибкам. Если максимальная по модулю поправка оказывается большей, чем указанный ценз, то последняя четвёрка координат вводимой точки бракуется и подлежит либо уточнению, либо исключению из процесса уравнивания. Мы приводим численный пример рекуррентного уравнивания параметров преобразования.

Изложение основного материала. Преобразование координат по способу Гельмерта [5] для двумерного случая осуществляется по формуле:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + m \cdot \begin{bmatrix} cos\varphi & -sin\varphi \\ sin\varphi & cos\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где $\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$ – вектор координат в «новой» системе;

$\begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}$ – вектор координат в «старой» системе;

$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix}$ – вектор начала координат «старой системы в «новой» системе;

m — масштаб координат «новой» системы относительно «старой»;

$\begin{bmatrix} cos\varphi & -sin\varphi \\ sin\varphi & cos\varphi \end{bmatrix}$ – матрица поворота;

φ – угол поворота «новой» системы относительно «старой».

В этом преобразовании имеет место сдвиг на величину $[X_0 Y_0]^T$, вращение, представленное матрицей поворота, и масштабирование m. В преобразовании (2) имеем четыре неизвестных параметра преобразования: X_0, Y_0, m и φ. В формуле (2) избавимся от нелинейной зависимости между неизвестными параметрами преобразования, для этого выполним замену переменных: $\alpha = m \cdot cos\varphi,\ \beta = m \cdot sin\varphi$. Тогда

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha & -\beta \\ \beta & \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}.$$

Здесь так же, как и в случае (2), мы по-прежнему имеем четыре неизвестных параметра преобразования: X_0, Y_0, α и β. Но между ними есть линейная связь. В литературе [5, с. 426] последнее соотношение также называют преобразованием координат по способу Гельмерта, демонстрируя тем самым, что это преобразование является частным случаем аффинного преобразования. Поскольку теперь между неизвестными параметрами преобразования есть линейная связь, нет необходимости раскладывать соответствующую функцию в ряд Тейлора и ограничиваться линейными членами разложения, задаваясь приближенными значениями неизвестных.

Представим себе программную систему, выполняющую преобразование координат. Система в таблице для ввода данных предлагает пользователю ввести пару «старых» координат U_i, V_i и пару «новых» координат X_i,Y_i. Каждая такая строка в этой таблице из четвёрки вводимых координат порождает новую пару уравнений поправок:

$$\begin{cases} v_i^x = X_0 + \alpha \cdot U_i - \beta \cdot V_i - X_i \\ v_i^y = Y_0 + \beta \cdot U_i + \alpha \cdot V_i - Y_i \end{cases},$$

или в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} v_i^x \\ v_i^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & U_i & -V_i \\ 0 & 1 & V_i & U_i \end{bmatrix} \cdot [X_0 Y_0 \quad \alpha \quad \beta]^T - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix},$$

более кратко

$$\begin{bmatrix} v_i^x \\ v_i^y \end{bmatrix} = a_i \cdot x - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix}.$$

Здесь $a_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & U_i & -V_i \\ 0 & 1 & V_i & U_i \end{bmatrix}$ — матрица уравнений поправок, составленная для очередной вводимой точки.

Вектор $x = [X_0 Y_0 \quad \alpha \quad \beta]^T$ — вектор неизвестных параметров преобразования.

Например, первую пару уравнений поправок для первой вводимой точки $X_1 = 2,\ Y_1 = 5,\ U_1 = 3,\ V_1 = 4$ в численном виде можно представить как:

$$\begin{bmatrix} v_1^x \\ v_1^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix} \cdot x - \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \end{bmatrix}.$$

Первая пара уравнений поправок создает матрицу системы нормальных уравнений:

$$N_1 = a_1^T \cdot a_1$$

и вектор свободных членов нормальных уравнений:

$$L_1 = a_1^T \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix},$$

или в численном виде:

$$N_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \\ 3 & 4 & 25 & 0 \\ -4 & 3 & 0 & 25 \end{bmatrix};$$

$$L_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \\ 26 \\ 7 \end{bmatrix}.$$

Поскольку введена всего одна точка, определитель N_1 равен нулю.

На вход системы поступает вторая точка в виде четвёрки координат: $X_2 = 3$, $Y_2 = 2,\ U_2 = 3, V_2 = 1$. Это порождает вторую пару уравнений поправок:

$$\begin{bmatrix} v_2^x \\ v_2^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix} \cdot x - \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix},$$

которые уточняют матрицу нормальных уравнений и их столбец свободных членов:

$$N_2 = N_1 + a_2^T \cdot a_2;$$

$$L_2 = L_1 + a_2^T \cdot \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix},$$

или в численном виде:

$$N_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 4 & 3 \\ 3 & 4 & 25 & 0 \\ -4 & 3 & 0 & 25 \end{bmatrix} + a_2^T \cdot a_2 = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 2 & 5 & 6 \\ 6 & 5 & 35 & 0 \\ -5 & 6 & 0 & 35 \end{bmatrix},$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \\ 26 \\ 7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 7 \\ 37 \\ 10 \end{bmatrix}.$$

На этом этапе введены две точки, то есть на вход системы избыточных измерений ещё не поступило, но нормальные уравнения мы всё же решить можем. Понятно, что все поправки будут равны нулю. Из системы нормальных уравнений $N_2 \cdot x = L_2$ находим вектор параметров преобразования x:

$$x = N_2^{-1} \cdot L_2 = \begin{bmatrix} 35/9 & 0 & -2/3 & 5/9 \\ 0 & 35/9 & -5/9 & -2/3 \\ -2/3 & -5/9 & 2/9 & 0 \\ 5/9 & -2/3 & 0 & 2/9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 5 \\ 7 \\ 37 \\ 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 0 \\ 1 \\ 1/3 \end{bmatrix}.$$

Здесь, чтобы при округлениях не потерять точность, обыкновенную дробь мы не переводим в десятичную.

На вход системы поступает третья точка: $X_3 = 7, Y_3 = 3, U_3 = 6, V_3 = 1$. Это порождает третью пару уравнений поправок:

$$\begin{bmatrix} v_3^x \\ v_3^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \end{bmatrix} \cdot x - \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Уточняем обратную матрицу нормальных уравнений по формуле (1):

$$N_3^{-1} = N_2^{-1} - N_2^{-1} \cdot a_3^T \cdot \beta \cdot a_3 \cdot N_2^{-1},$$

где $\beta = (E + a_3 \cdot N_2^{-1} \cdot a_3^T)^{-1}$ – диагональная матрица.

В численном виде:

$$\beta = \left(E + \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}\right)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 1/4 \end{bmatrix};$$

$$N_3^{-1} = N_2^{-1} - N_2^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 1/4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \end{bmatrix} \cdot N_2^{-1},$$

или

$$N_3^{-1} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -1/3 & 1/6 \\ 0 & 2 & -1/6 & -1/3 \\ -1/3 & -1/6 & 1/12 & 0 \\ 1/6 & -1/3 & 0 & 1/12 \end{bmatrix}.$$

Уточняем вектор свободных членов нормальных уравнений:

$$L_3 = L_2 + a_3^T \cdot \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 7 \\ 37 \\ 10 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 10 \\ 82 \\ 21 \end{bmatrix}.$$

Находим новый вектор неизвестных:

$$x = N_3^{-1} \cdot L_3 = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -1/3 & 1/6 \\ 0 & 2 & -1/6 & -1/3 \\ -1/3 & -1/6 & 1/12 & 0 \\ 1/6 & -1/3 & 0 & 1/12 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 12 \\ 10 \\ 82 \\ 21 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/6 \\ -2/3 \\ 7/6 \\ 5/12 \end{bmatrix}.$$

Вычислим поправки к «измеренным» величинам:

$$v = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \cdot x - [X_1 \quad Y_1 \quad X_2 \quad Y_2 \quad X_3 \quad Y_3]^T = [0 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad -0.25 \quad -0.25 \quad 0]^T.$$

Зададимся следующим правилом для поиска грубых ошибок ввода: если максимальная по модулю поправка $|v_i|$ будет меньше 0,4, то считаем введенные координаты доброкачественными и искать ошибку во введенных данных не следует. Иначе необходимо искать ошибку во введенных данных, причём во всех трёх введенных точках. Как видно, в нашем случае все поправки по модулю оказались меньшими 0,4.

Введём координаты следующей, четвёртой точки: $X_4 = 5, Y_4 = 6, U_4 = 6, V_4 = 5$. Появится соответствующая матрица уравнений поправок:

$$\begin{bmatrix} v_4^x \\ v_4^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 1 & 5 & 6 \end{bmatrix} \cdot x - \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \end{bmatrix}.$$

Уточняем обратную матрицу нормальных уравнений по формуле (1):

$$N_4^{-1} = N_3^{-1} - N_3^{-1} \cdot a_4^T \cdot \beta \cdot a_4 \cdot N_3^{-1},$$

где $\beta = (E + a_4 \cdot N_3^{-1} \cdot a_4^T)^{-1}$.

В численном виде:

$$\beta = \left(E + \begin{bmatrix} 17/12 & 0 \\ 0 & 17/12 \end{bmatrix}\right)^{-1} = \begin{bmatrix} 12/29 & 0 \\ 0 & 12/29 \end{bmatrix};$$

$$N_4^{-1} = N_3^{-1} - N_3^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 1 & 5 & 6 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 12/29 & 0 \\ 0 & 12/29 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 1 & 5 & 6 \end{bmatrix} \cdot N_3^{-1};$$

или

$$N_4^{-1} = \begin{bmatrix} 133/87 & 0 & -6/29 & 11/87 \\ 0 & 133/87 & -11/87 & -6/29 \\ -6/29 & -11/87 & 4/87 & 0 \\ 11/87 & -6/29 & 0 & 4/87 \end{bmatrix};$$

$$L_4 = L_3 + a_4^T \cdot \begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 10 \\ 82 \\ 21 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 1 & 5 & 6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17 \\ 16 \\ 142 \\ 32 \end{bmatrix}.$$

Находим новый вектор неизвестных:

$$x = N_4^{-1} \cdot L_4 = \begin{bmatrix} 133/87 & 0 & -6/29 & 11/87 \\ 0 & 133/87 & -11/87 & -6/29 \\ -6/29 & -11/87 & 4/87 & 0 \\ 11/87 & -6/29 & 0 & 4/87 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 17 \\ 16 \\ 142 \\ 32 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19/29 \\ -10/87 \\ 86/87 \\ 9/29 \end{bmatrix}.$$

Вычислим поправки к «измеренным» величинам:

$$v = [0.38 \quad -0.23 \quad 0.31 \quad -0.20 \quad -0.72 \quad -0.26 \quad 0.03 \quad 0.69]^T.$$

Как видно, значения двух поправок по модулю превышают 0,4. Одна из этих поправок относится к третьей вводимой точке, а вторая — к четвёртой. Однако мы понимаем, что метод наименьших квадратов распределяет невязку на все измерения. Мы помним, что первые три введенные точки были оценены нами, как доброкачественные. Делаем вывод, что ошибку следует искать в координатах последней введенной точки.

После нахождения грубой ошибки (Y_4 оказался равным 8, а не 6) уравнения поправок для четвёртой вводимой точки изменились:

$$\begin{bmatrix} v_4^x \\ v_4^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 & -5 \\ 0 & 1 & 5 & 6 \end{bmatrix} \cdot x - \begin{bmatrix} 5 \\ 8 \end{bmatrix}.$$

После применения всей процедуры новый вектор поправок будет:

$$v = [-0.10 \quad 0.32 \quad 0.24 \quad -0.26 \quad -0.17 \quad 0.08 \quad 0.03 \quad -0.14]^T.$$

Видно, что ни одна из значений поправок по модулю не превышают 0,4. Таким образом, введенные координаты четвёртой точки уже не содержат грубых ошибок.

Выводы. В статье продемонстрирован разработанный автором процесс выявления грубых ошибок при вводе данных в программную систему преобразования координат по способу Гельмерта. После ввода четвёрки координат очередной точки уточняется обратная матрица нормальных уравнений на основе рекуррентной формулы Шермана–Морриса. Далее вычисляется вектор неизвестных параметров преобразования и вектор поправок. Поскольку метод наименьших квадратов распределяет невязку по всем измерениям, в качестве индикатора грубых ошибок предложен анализ вектора поправок. Если значение максимальной по модулю поправки превышает заданный ценз, то к какому бы измерению не относилась эта поправка, отбраковывается последняя введенная точка.

Можно вместо анализа максимальной по модулю поправки после ввода очередной точки вычислять новую среднюю квадратическую ошибку. Если она превышает допустимое значение, то аналогично бракуется последняя введенная точка. Процедура контроля грубых ошибок производится на этапе ввода данных. Она не позволяет пользователю ввести координаты следующей точки до тех пор, пока не будет введены доброкачественные координаты текущей точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воеводин В.В.* Энциклопедия линейной алгебры: Электронная система ЛИНЕАЛ / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 544 с.

2. *Большаков В.Д.* Уравнивание геодезических построений: Справочное пособие/ Большаков В.Д., Маркузе Ю.В., Голубев В.В. – М.: Недра, 1989. – 413 с.

3. *Маркузе Ю.И.* Основы метода наименьших квадратов и уравнительных вычислений: Учеб. пособие / Ю.И. Маркузе. – М.: МИИГАиК, 2005. – 280 с.

4. *Герасименко М.Д.* К вопросу о выявлении грубых ошибок измерений / М.Д. Герасименко // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 6. – С. 3–6.

5. *Михайлович К.* Геодезия: Уравнительные вычисления / К. Михайлович. – М.: Недра, 1978. – 448 с.

REFERENCES

1. Voevodin, V.V., & Voevodin, Vl.V. (2006). *Entsiklopedia lineynoy algebry:Elektronnaia sistema LINEAL [Encyclopaedia of linear algebra: Electronic system LINEAL]*. St.Peterburg: BHV-Petergurg [in Russian].

2. Bolshakov, V.D., Markuze U.V., & Golubev, V.V. (1989). *Uravnivanie geodezicheskikh postroehiy: Spravochnoe posobie [Adjustment of Networks: Certificate manual]*. Moscow: Nedra [in Russian].

3. Markuze, U.V. (2005). *Osnovy metoda naimenshikh kvadratov i uravnitelnykh vychisleniy: Uchebnoe posobie [Bases of Least Squares Method and Adjustment Calculations: Train aid]*. Moscow: MIIGAIK [in Russian].

4. Gerasimenko, M.D. (2010). K voprosu o vyiavlenii grubykh oshibok izmereniy [To the question about diagnostic of measurements gross errors]. *Izvestia vuzov. Geodezia i aerofotosemka — News of higher educational establishments. A section is a geodesy and aero surveying, 6, 3-7* . Moscow: MIIGAIK [in Russian].

5. Mikhailovich, K. (1978). *Geodezia: Uravnitelnye vychislenia [Geodesy: Adjustment Calculations]*. Moscow: Nedra [in Russian].

В.В. Зіборов

ВИЯВЛЯННЯ ГРУБИХ ПОМИЛОК В ЗАДАЧІ ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРЕНТНОЇ ФОРМУЛИ

Запропоновано контроль грубих помилок в задачі перетворення координат за способом Гельмерта. Під час подання на вхід інформаційної системи чергової четвірки координат генерується два рівняння поправок. Зворотну матрицю нової системи нормальних рівнянь пропонується шукати на основі попередньої зворотної матриці за рекурентною формулою Шермана–Морріса. Груба помилка виявляється в процесі аналізу чергового вектора поправок. Якщо максимальна за модулем поправка виявляється більшою за деякий ценз, то остання четвірка координат точки, що вводиться, бракується. Наведено чисельний приклад розв'язання задачі.

Ключові слова: *обробка результатів вимірюваннь, метод найменших квадратів, вирівнювання параметричним способом, рекурентне вирівнювання, послідовне вирівнювання, виявлення грубих помилок вимірювань.*

V.V. Ziborov

GROSS ERRORS DIAGNOSTIC IN THE TASK OF HELMERT COORDINATES TRANSFORMATION WITH THE USE OF RECURRENT FORMULA

Gross errors diagnostic is offered in the task of Helmert coordinates transformation. At a receipt on the entrance of the informational system of next four of coordinates in obedience to method of least squares two equalizations of residuals are generated. It is suggested to calculate the inverse matrix of the new system of normal equalizations on the basis of previous inverse matrix on the Sherman–Morrison recurrent formula. After the receipt of new inverse matrix we calculate the next vector of adjustment corrections. A gross error is revealed during the analysis of the vector of adjustment corrections. If a maximal on the module amendment appears greater some qualification, the last four of coordinates of the entered point is scrapped. It is possible, for example, to accept qualification equal to two possible middle quadratic errors. The numeral example of decision of task is resulted.

Keywords*: transformation of coordinates, gross errors diagnostic, processing observed measurements, method of least squares, gross errors, critical values of residuals, parametric adjustment of observed measurements, recursive adjustment, recurrent adjustment, recursive least squares.*

Надійшла до редакції 20.03.2014