УДК 621.317:396; 629.7; 681.3

© Кукушкин С.С., Гулый Н.Н.
Kukooschkin S. S., Gooluy N. N.

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАСС ИЗМЕРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF IDENTIFICATION OF LINES OF THE MEASUREMENTS RECEIVED WITH USE VARIOUS TRAJECTORY OPTICAL DEVICES

Аннотация. *Статья посвящена разработке новых методов и технологий идентификации трасс измерений, полученных с использованием различных траекторных оптических приборов. Показано, что для решения этих задач необходима разработка упрощенных математических методов матричного анализа всей совокупности получаемых результатов измерений.*

Annotation. *Article is devoted working out of new methods and technologies of identification of routes of the measurement received with use various trajectory optical devices. It is shown, that working out of the simplified mathematical methods of the matrix analysis of all set of received results of measurements is necessary for the decision of this problem.*

Ключевые слова. *Натурное испытание, сложная техническая система, новые методы, технология обработки оптической информации, видеоизображение.*

Key words. *Natural test, complicated technical system, new method, technologie of processing of the optical information, video image.*

Под условной идентификацией понимается установление соответствий между измерениями различных приборов. Иначе говоря, привязка всех измерений к некоторым условным объектам.

Общим подходом к решению данной задачи является построение различных вариантов соответствия трасс измерений разных приборов и выбор лучшего варианта соответствий с использованием принятого критерия. Исходя из имеющейся измерительной информации, в качестве критерия выбора целесообразно использовать минимум меры близости между трассами измерений разных приборов.

Измерительная информация, поступающая после предварительной обработки каждого из приборов, представляет собой множество трасс измерений, порожденных различными объектами. Так как кадры измерительной информации привязаны ко времени, то и трассы измерений, также привязаны ко времени. Трасса измерений представляет собой последовательность угломерных измерительных параметров (азимутов и углов места) в местной системе координат прибора, выстроенной по времени с определенной дискретностью. Ввиду наложения различных трасс измерений по отношению к отдельному прибору, в них могут быть пропуски информации. Причиной отсутствия части информации по трассе измерений или ее полного отсутствия у прибора может служить также прохождение отображаемых траекторий движения объектов по краю или вне поля зрения прибора.

Предварительно измерения всех трасс измерений всех приборов синхронизируются с привязкой к единым моментам времени. При этом также производится отбраковка аномальных измерений.

В формализованном виде вся измерительная информация Z состоит из информационных массивов $Z^l(l=1, L)$, полученных с помощью L задействованных приборов. Каждый массив Z^l состоит из N_l трасс измере-

Кукушкин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник 4 ЦНИИ Министерства обороны РФ, тел. 515-19-82,
Гулый Николай Николаевич, начальник отдела 4 ГЦМП Министерства обороны РФ, тел. 727-43-87.

Kukooschkin Sergej Sergeevich, Dr. Sci. Tech., the professor conducting the scientific employee, 4 CNII the Ministries of Defense, tel. 515-19-82,
Gooluy Nikolaj Nikolaevich, the chief of division of 4 GCMP the Ministries of Defense, tel. 727-43-87.

ний $Z^{lj}\,(j=1,N_l)$, где номер трассы j является условным номером объекта.

Отдельная трасса $Z^{lj}\,(j=1,N_l)$ состоит из M_{lj} измерений $z_{ljk}\,(k=1,M_{lj})$, упорядоченных по возрастанию времени их регистрации. Каждое измерение z_{ljk} имеет следующую структуру:

$$t_{ljk},\ \lambda_{ljk},\ \beta_{ljk},\ S\lambda_{ljk},\ S\beta_{ljk}\,, \qquad (1)$$

где t_{ljk} – время регистрации k-го измерения j-й трассы l-го прибора;

$\lambda_{ljk},\ \beta_{ljk}$ – азимут и угол места объекта с условным номером j на момент времени t_{ljk};

$S\lambda_{ljk},\ S\beta_{ljk}$ – оценки СКО азимута и угла места объекта с условным номером j на момент времени t_{ljk}.

Все приборы упорядочиваются. В качестве критерия упорядочения выступает наличие у них трасс измерений, а в случае равенства их числа упорядочение производится на основе уменьшения общего количества измерений во всех трассах. Трассы, формируемые на основе измерений каждого прибора, также упорядочиваются по уменьшению количества измерений в них.

Для условной идентификации трасс измерений различных приборов рассматриваются все возможные пары имеющихся приборов. Опорным прибором в паре считается тот из них, у которого наибольшее количество трасс измерений. При равном количестве трасс измерений опорным считается тот, у которого наибольшее количество измерений в трассах. Другой прибор считается ведомым.

Между всеми имеющимися трассами измерений опорного прибора и трассами измерений ведомого прибора рассчитывается мера близости

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{ij}} C_{ijk}}{N_{ij}}, \qquad (2)$$

где N_{ij} – количество измерений, имеющееся у опорного прибора в j-й трассе измерений, для которых имеются соответствующие по времени регистрации измерения у ведомого прибора в i-й трассе;

C_{ijk} – мера близости k-го соответствующего по времени регистрации измерения j-й трассы измерений опорного прибора и i-й трассы измерений ведомого прибора.

Величина C_{ijk} также может представлять собой нормированное значение равномерного угла, характеризующего близость двух визирных линий.

Равномерный угол, характеризующий близость двух визирных линий, рассчитывается следующим образом:

$$\gamma = \arctan\frac{d}{S_1+S_2}, \qquad (3)$$

где d – кратчайшее расстояние между визирными линиями;

S_1 – расстояние от опорной видеокамеры до наименьшего отрезка между визирными линиями;

S_2 – расстояние от ведомой видеокамеры до наименьшего отрезка между визирными линиями.

Кратчайшее расстояние между визирными линиями находится по формуле

$$d = \frac{\pm\begin{vmatrix} x_1-x_2 & y_1-y_2 & z_1-z_2 \\ l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \end{vmatrix}}{\sqrt{\begin{vmatrix} l_1 & m_1 \\ l_2 & m_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} m_1 & n_1 \\ m_2 & n_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} n_1 & l_1 \\ n_2 & l_2 \end{vmatrix}^2}}, \qquad (4)$$

где x_1, y_1, z_1 – координаты опорного прибора в расчетной системе координат;

x_2, y_2, z_2 – координаты текущего прибора в расчетной системе координат;

$l_1,\ m_1,\ n_1$ – значения направляющего вектора визирной линии с опорного прибора в расчетной системе координат;

$l_2,\ m_2,\ n_2$ – значения направляющего вектора визирной линии ведомого прибора в расчетной системе координат.

$$S_1 = \sqrt{\left(x_{d1}-x_1\right)^2 + \left(y_{d1}-y_1\right)^2 + \left(z_{d1}-z_1\right)^2};$$
$$S_2 = \sqrt{\left(x_{d2}-x_2\right)^2 + \left(y_{d2}-y_2\right)^2 + \left(z_{d2}-z_2\right)^2}, \qquad (5)$$

где x_{d1}, y_{d1}, z_{d1} – координаты начала наименьшего отрезка между визирными линиями, расположенного на визирной линии с опорного прибора;

x_{d2}, y_{d2}, z_{d2} – координаты конца наименьшего отрезка между визирными линиями, расположенного на визирной линии с опорного прибора.

Координаты концов наименьшего отрезка между визирными линиями определяются по формулам

$$y_{d1} = \frac{C_2\cdot B_1 - C_1\cdot B_2}{A_1\cdot B_2 - A_2\cdot B_1}; \qquad y_{d2} = \frac{A_2\cdot C_1 - A_1\cdot C_2}{A_1\cdot B_2 - A_2\cdot B_1};$$

$$x_{d1} = x_1 - l_1\cdot\frac{y_1-y_{d1}}{m_1}; \qquad x_{d2} = x_2 - l_2\cdot\frac{y_2-y_{d2}}{m_2};$$

$$z_{d1} = z_1 - n_1\cdot\frac{y_1-y_{d1}}{m_1}; \qquad z_{d2} = z_2 - n_2\cdot\frac{y_2-y_{d2}}{m_2};$$

$$A_1 = \frac{1}{m_1};\ \ B_1 = -m_1 - \frac{l_1\cdot l_2 - n_1.n_2}{m_2};\ \ C_1 = l_1\cdot D_1 + n_1\cdot D_1; \qquad (6)$$

$$A_2 = m_2 + \frac{l_1\cdot l_2 + n_1.n_2}{m_1};\ \ B_2 = -\frac{1}{m_2};\ C_2 = l_2\cdot D_2 + n_2\cdot D_2;$$

$$D_1 = x_1 - x_2 - l_1\cdot\frac{y_1}{m_1} + l_2\cdot\frac{y_2}{m_2};\ \ D_2 = z_1 - z_2 - n_1\cdot\frac{y_1}{m_1} + n_2\cdot\frac{y_2}{m_2}.$$

Нормированное значение равномерного угла, характеризующего близость двух визирных линий, рассчитывается следующим образом:

$$C = \frac{\gamma}{S\phi}, \qquad (7)$$

где $S\phi = \frac{SW}{\sqrt{1-W^2}}$;

$$W = \frac{P}{T};\ P = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2;\ T = R_1 R_2;$$

$$SW = \frac{\sqrt{A_1^2 l_1^2 + B_1^2 m_1^2 + C_1^2 n_1^2 + A_2^2 l_2^2 + B_2^2 m_2^2 + C_2^2 n_2^2}}{R_1^3 R_2^3}; \qquad (8)$$

$$A_1 = l_2 T^2 - l_1 P Q_2; \qquad A_2 = l_1 T^2 - l_2 P Q_1;$$
$$B_1 = m_2 T^2 - m_1 P Q_2; \qquad B_2 = m_1 T^2 - m_2 P Q_1;$$
$$C_1 = n_2 T^2 - n_1 P Q_2; \qquad C_2 = n_1 T^2 - n_2 P Q_1;$$
$$R = \sqrt{Q};\ Q = l^2 + m^2 + n^2;$$

$$\begin{aligned} &l = \cos\lambda\cos\beta;\\ &Sl = \sqrt{\sin^2\lambda\cdot\cos^2\beta\cdot S^2\lambda + \cos^2\lambda\cdot\sin^2\beta\cdot S^2\beta};\\ &m = \sin\beta;\\ &Sm = \cos\beta\cdot S\beta;\\ &n = \sin\lambda\cos\beta;\\ &Sn = \sqrt{\cos^2\lambda\cdot\cos^2\beta\cdot S^2\lambda + \sin^2\lambda\cdot\sin^2\beta\cdot S^2\beta}, \end{aligned} \qquad (9)$$

где $\lambda_1, \beta_1, S\lambda_1, S\beta_1$ – измерения азимута и угла места, а также их оценки СКО опорного прибора;

$\lambda_2, \beta_2, S\lambda_2, S\beta_2$ – измерения азимута и угла места, а также их оценки СКО текущего прибора.

Для условной идентификации трасс измерений для пары приборов (i и j) необходимо сформировать квадратную матрицу мер близости между трассами

$$C_{ij} = \begin{Vmatrix} c_{11}^{ij} & c_{12}^{ij} & \dots & c_{1n}^{ij} \\ c_{21}^{ij} & c_{22}^{ij} & \dots & c_{2n}^{ij} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1}^{ij} & c_{n2}^{ij} & \dots & c_{nn}^{ij} \end{Vmatrix}, \qquad (10)$$

а затем решить задачу выбора методом Эгервари. Если у текущего прибора (i) трасс измерений меньше, чем у опорного прибора (j), то недостающие элементы строк заполняются величиной, равной сумме всех раннее заполненных элементов.

В результате условной идентификации трасс измерений для пары приборов получается последовательность соответствий трасс измерений текущего прибора (i) трассам измерений опорного прибора (j)

$$Q_{ij} = \left\{q_{ij1}, q_{ij2}, \dots q_{ijk} \dots q_{ijN_i}\right\}, \qquad (11)$$

где N_i – количество трасс измерений у текущего прибора (i);

q_{ijk} – номер трассы измерений опорного прибора (j), которой соответствует k-я трасса измерений ведомого прибора (i).

В результате условной идентификации всех пар приборов получается следующая матрица последовательностей соответствий трасс измерений:

$$\begin{Vmatrix} - & - & \dots & - & - & - \\ Q_{21} & - & \dots & - & - & - \\ Q_{31} & Q_{32} & \dots & - & - & - \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{N-1,1} & Q_{N-1,2} & \dots & Q_{N-1,N-2} & - & - \\ Q_{N,1} & Q_{N,2} & \dots & Q_{N,N-2} & Q_{N,N-1} & - \end{Vmatrix}. \qquad (12)$$

Основной нумерацией считается условная нумерация трасс измерений первого после упорядочивания прибора. Трассы второго прибора считаются условно идентифицированными по последовательности соответствий Q_{21}, им присваиваются соответствующие номера условной нумерации первого прибора. Для трасс третьего прибора имеется последовательность соответствий Q_{31}, по которой присваиваются номера условной нумерации первого прибора непосредственно. Также для трасс третьего прибора можно получить последовательность соответствий Q_{31}^2, по которым присваиваются номера условной нумерации первого прибора посредством второго прибора:

$$Q_{31}^2 = \left\{q_{311}^2, q_{312}^2, \dots q_{31k}^2 \dots q_{31N_3}^2\right\}. \qquad (13)$$

Элементы этой последовательности соответствий получаются по двум последовательностям Q_{32} и Q_{21}

$$\begin{aligned} Q_{32} &= \left\{q_{321}, q_{322}, \dots q_{32k} \dots q_{32N_3}\right\};\\ Q_{21} &= \left\{q_{211}, q_{212}, \dots q_{21k} \dots q_{21N_2}\right\} \end{aligned} \qquad (14)$$

следующим образом:

$$q_{31k}^2 = q_{21q_{32k}}. \qquad (15)$$

Если последовательности Q_{31} и Q_{31}^2 не одинаковые, то производится переназначение трасс измерений сразу трех приборов по алгоритму перебора различных вариантов соответствий.

Этот алгоритм предполагает рассмотрение очень большого количества вариантов соответствий трасс измерений. Число таких вариантов приблизительно можно оценить по формуле

$$N_B = \left(\frac{N}{e}\right)^{(M-1)N} \cdot 2\pi N, \qquad (16)$$

где N – максимальное количество трасс измерений у одного прибора;

M – количество приборов.

Так, для 3 приборов с 5 трассами измерений у каждой число вариантов составит примерно 14400, с 10 трассами измерений – примерно $1{,}3\cdot 10^{13}$, 15 трассами измерений – примерно $1{,}7\cdot 10^{24}$. Поэтому необходимо уменьшить количество трасс измерений.

С этой целью из обработки исключаются те трассы измерений, которые были однозначно идентифицированными последовательностями Q_{31} и Q^2_{31}. В условной нумерации первого прибора это те трассы, номера которых совпадают на одинаковых позициях последовательностей Q_{31} и Q^2_{31}

$$q_{31t} = q^2_{31t}; t = 1, T; T < N_1. \quad (17)$$

Назовем эти номера определенными номерами последовательности Q_{31}, а номера позиций, на которых они находятся, – позиционными номерами последовательности Q_{31}.

Для исключения однозначно идентифицированных трасс измерений из матриц мер близости между трассами измерений C_{21}, C_{32} и C_{31} вычеркиваются следующие стоки и столбцы:

• для матрицы C_{31} – строки, номера которых совпадают с позиционными номерами последовательности Q_{31}, и столбцы, номера которых совпадают с определенными номерами последовательности Q_{31};

• для матрицы C_{32} – строки, номера которых совпадают с позиционными номерами последовательности Q_{31}, и столбцы, номера которых совпадают с номерами на позициях с позиционными номерами последовательности Q_{31} в последовательности Q_{32} (назовем эти номера определенными последовательности Q_{32});

• для матрицы C_{21} – строки, номера которых совпадают с позиционными номерами последовательности Q_{32}, и столбцы, номера которых совпадают с номерами на позициях с позиционными номерами последовательности Q_{32} в последовательности Q_{21}.

Рассмотрит алгоритм перебора различных вариантов соответствий трасс измерений, имеющихся у трех приборов.

Вариант соответствия трасс измерений у трех необходимых приборов однозначно определяется двумя последовательностями соответствий Q_{21} и Q_{31}:

$$Q_{21} = \{q_{211}, q_{212}, \ldots q_{21k} \ldots q_{21N}\};$$
$$Q_{31} = \{q_{311}, q_{312}, \ldots q_{31k} \ldots q_{31N}\}. \quad (18)$$

Перебору подлежат все возможные соответствия последовательности Q_{21}, а также все возможные соответствия последовательности Q_{31} независимо одних от других. Третья последовательность соответствий однозначно вытекает из первых двух последовательностей Q_{21} и Q_{31}

$$Q_{32} = \{q_{321}, q_{322}, \ldots q_{32k} \ldots q_{32N}\}. \quad (19)$$

Элементы ее определяются исходя из условия: если $q_{21k}, = q_{31l}$ то $q_{32l} = k$.

Рассчитывается значение следующей обобщенной меры близости трасс измерений у приборов для каждого из варианта соответствий трасс измерений

$$P = \sum_{i=1}^{N} \left(c^{21}_{iq_{21i}} + c^{31}_{iq_{21i}} + c^{32}_{iq_{21i}} \right). \quad (20)$$

Выбирается тот из вариантов соответствий трасс измерений, для которых величина обобщенной меры близости P наименьшая.

Таким образом, производится идентификация трасс измерений для трех приборов.

Если для измерений полета множества объектов задействовано более трех приборов, то трассы измерений четвертого и последующих приборов идентифицируются по критерию близости трасс измерений этих приборов к траекториям полета объектов, рассчитанным по измерительной информации первых трех приборов.

Рассмотрим алгоритм решения задачи выбора методом Эгервари.

Задача выбора. Имеется n трасс измерений опорного прибора и n трасс измерений текущего прибора. Через c_{ij} обозначим величину меры близости между i-й трассой измерений текущего прибора с j-й трассой измерений опорного прибора. Система величин $c_{i1}, c_{i2}, \ldots, c_{in}$ определяется мерой близости i-й трассы измерений текущего прибора со всеми имеющимися трасами измерений опорного прибора. Задачу, связанную с оптимальным выбором соответствий между трассами текущего и опорного приборов, и назовем проблемой выбора (проблемой назначения). Математически проблема выбора формулируется следующим образом.

Из квадратной матрицы

$$C = \begin{Vmatrix} c_{11} & c_{12} & \ldots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \ldots & c_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ c_{n1} & c_{n2} & \ldots & c_{nn} \end{Vmatrix} \quad (21)$$

выбрать такую последовательность элементов

$$\left\{ c_{1j_1}, c_{2j_2}, \ldots, c_{nj_n} \right\},$$

чтобы $j_k \neq j_l$ при $l \neq k$ и при этом величина $\sum_{k=1}^{n} c_{kj_k}$ достигала своего минимального значения.

Другими словами, необходимо из каждой строки и каждого столбца матрицы C выбрать ровно по одному элементу так, чтобы их сумма была наименьшей. В общем случае приходится выбирать оптимальный вариант из достаточно большого числа возможных вариантов равного $n!$.

Алгоритм решения задачи выбора.

Необходимо вначале определить некоторые понятия. Нулевые элементы квадратной матрицы $z_1, z_2, \ldots, z_k$ называются независимыми нулями, если для любого $1 \le i \le k$ строка и столбец, на пересечении которых ле-

жит элемент z_i не содержат элементов z_k, $k \neq i$.
Две прямоугольные матрицы порядка m, n $C = \|c_{ij}\|_{m,n}$ и $D = \|d_{ij}\|_{m,n}$ называются эквивалентными ($C \sim D$), если $c_{ij} = d_{ij} + \alpha_i + \beta_j; i = 1, 2, \ldots, m; j = 1, 2, \ldots, n$. В процессе решения некоторые строки (столбцы) квадратной матрицы C и ей эквивалентных матриц будут выделяться. Элементы, лежащие в выделенных линиях (строках или столбцах) этих матриц, называются выделенными элементами. Алгоритм состоит из подготовительного этапа и не более (n-2) последовательно проводимых итераций. Каждая итерация связана с некоторыми эквивалентными преобразованиями матрицы, полученной в результате проведения предыдущей итерации, и выбором максимального числа независимых нулей. Окончательным результатом итерации является увеличение числа независимых нулей, имеющихся в ее начале, на единицу. Как только количество независимых нулей становится равным n, проблема выбора оказывается решенной – оптимальный вариант определяется позициями независимых нулей в последней из матриц, эквивалентных C.

Подготовительный этап. Разыскивается минимальный элемент в j-м столбце и из всех элементов этого столбца последовательно вычитается этот минимальный элемент. Эта операция проделывается со всеми столбцами матрицы C, $1 \leq j \leq n$. Разыскивается минимальный элемент в i-й строке и из всех элементов этой строки последовательно вычитается этот минимальный элемент. Эта операция проделывается со всеми строками матрицы C, $1 \leq i \leq n$. В результате образуется матрица C_0 с неотрицательными элементами, в каждой строке и в каждом столбце которой имеется, по меньшей мере, один нуль. Отмечаем произвольный нуль в первом столбце звездочкой (*). Затем просматривается второй столбец и, если в нем обнаруживается нуль, в строке которого нет нуля со звездочкой, отмечаем его звездочкой. Аналогично просматриваются один за другим все остальные столбцы матрицы C_0. Нули этой матрицы, отмеченные звездочкой, являются независимыми.

Описание отдельной итерации. Допустим, что k-я итерация уже проведена и через C_k обозначена матрица, с которой начинается (k +1)-я итерация. Если в матрице C_k звездочкой отмечено ровно n нулей, процесс решения заканчивается, причем оптимальный выбор определяется позициями нулей со звездочкой матрицы C_k. Если же число нулей со звездочкой матрицы C_k меньше n, осуществляется переход к (k+1)-й итерации.

Перед началом итерации выделяются столбцы C_k, содержащие нули со звездочкой.

Этап 1. Если среди невыделенных элементов матрицы C_k нет нулевых, осуществляется переход к этапу 3. Если невыделенный нуль C_k обнаруживается, возможна одна из двух альтернатив:

а) строка, содержащая этот нуль, содержит также нуль со звездочкой;

б)строка, содержащая этот нуль, не содержит нуля со звездочкой.

В случае *а* ставится над найденным нулем штрих ('), выделяется строка, его содержащая, и убирается выделение столбца, на пересечении которого с только что выделенной строкой расположен нуль со звездочкой.

В случае *б* отмечается полученный нуль штрихом и осуществляется переход к этапу 2.

Совокупность операций, связанных с описанным исследованием одного невыделенного нуля C_k, называется шагом этапа 1. После конечного числа шагов либо обнаруживается наличие альтернативы *б* (переход к этапу 2), либо все нули оказываются выделенными (переход к этапу 3).

Этап 2. Следуя правилу нуля со штрихом, в строке которого нет нуля со звездочкой (признак альтернативы *б*), строится следующая цепочка элементов матрицы C_k: исходный нуль со штрихом, нуль со звездочкой (если такой найдется), лежащий с ним в одном столбце, нуль со штрихом, лежащий в одной строке с предшествующим нулем со звездочкой, и т.д. Итак, цепочка образуется движением от нуля со штрихом к нулю со звездочкой по столбцу, от нуля со звездочкой к нулю со штрихом по строке. При этом цепочка обязательно заканчивается нулем со штрихом. Над элементами цепочки, стоящими на нечетных местах (нули со штрихами), ставятся звездочки и уничтожаются штрихи над ее четными элементами. Далее уничтожаются все штрихи над элементами матрицы C_k и производится выделение ее столбцов и строк. Число независимых нулей C_k увеличено на единицу; (k+1)-я итерация заканчивается $C_{k+1} = C_k$.

Этап 3. К этому этапу переходят после завершения этапа 1 выделением всех нулей матрицы C_k. Среди невыделенных элементов C_k выбирается минимальный элемент $h > 0$. Далее, величина h вычитается из всех элементов C_k, расположенных в ее невыделенных строках, и прибавляется ко всем элементам этой матрицы, лежащим в выделенных столбцах. Получается новая матрица $C_k^{(1)}$ (эквивалентная C_k). Поскольку среди невыделенных элементов $C_k^{(1)}$ имеются нули, то осуществляется переход к этапу 1, с той лишь разницей, что C_k заменяется матрицей $C_k^{(1)}$.

Завершив этап 1, осуществляется переход к этапу 2 (имеет место альтернатива *б*), либо осуществляется возврат к этапу 3 (все нули $C_k^{(1)}$ оказываются выделенными). В первом случае после проведения этапа 2 (k+1)-я итерация заканчивается. Во втором случае в результате этапа 3 приходят к матрице $C_k^{(2)} \sim C_k^{(1)} \sim C_k$, содержащей невыделенные нули, и вся последовательность операций повторяется, отправляясь от $C_k^{(2)}$. После конечного числа $p-1$ возвращений к этапу 3 очередной этап 1 обязательно завершится альтернативой *б*. Проведя далее этап 2, увеличивается число нулей со звездочкой на единицу и заканчивается (k+1)-я итерация. При этом $C_{k+1}=C_k^{(p)}$.

Выводы. Условная идентификация трасс измерений различных траекторных оптических приборов требует применения математических методов матричного анализа совокупности получаемых результатов измерений. При традиционном подходе эта задача отличается большой трудоемкостью, поскольку предполагает рассмотрение очень большого количества вариантов соответствий трасс измерений. Возможность существенного уменьшения вариантов соответствий, как показано в статье, связана с совершенствованием метода выбора Эгервари. Она обеспечивается при использовании матричного анализа, ориентированного на представление элементов матриц, представляющих собой измерений, образами-остатками [7,8]. Таким образом, использование нового прикладного математического аппарата конструктивной теории конечных полей позволяет по-новому подойти к решению проблемы условной идентификации трасс измерений различных траекторных оптических приборов.

Литература

1. Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. – М: Наука, 1973.
2. Новицкий П.В., Зофград И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л: Энергоатомиздат, 1985.
3. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. – М: Недра, 1983.
4. Жданюк Б.Р. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М: Советское радио, 1978.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1984.
6. Машимов М.М. Теоретическая геодезия. – М: Недра, 1991.
7. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика /Т.1 Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: МО РФ, 2003. – 284с.
8. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем М.: МО РФ, 2008. – 328с.

Материал поступил в редакцию 10. 02. 2009г.