

УДК 531.383

О СКАЛЯРНОЙ КАЛИБРОВКЕ БЛОКА ГИРОСКОПОВ И АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Аврутов В.В. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Рассмотрены основные особенности скалярного метода калибровки блока гироскопов и акселерометров, который позволяет определять нулевые сигналы, погрешности масштабных коэффициентов и углы неортогональностей датчиков, не предъявляя жестких требований к угловой выставке испытательного оборудования и выставке датчиков на испытательном оборудовании. Однако, необходимо иметь достаточно высокую точность измерения нормированных выходных сигналов датчиков - алгоритм нормально работает при числе цифр не менее восьми после запятой в выходных сигналах акселерометров.

Ключевые слова: калибровка, гироскоп, акселерометр.

Введение

Для калибровки блока гироскопов и акселерометров обычно используют методы тестовых и последовательных поворотов [1,2], при которых в качестве эталона принимают вектор угловой скорости вращения поворотной установки $\vec{\omega}$ и вектор ускорения силы тяжести \vec{g} . Поэтому такие методы еще называют векторными. Основной недостаток таких методов – предъявление жестких требований к угловой выставке испытательного оборудования.

Также известен скалярный способ калибровки [3] блока гироскопа и акселерометров, который получил свое название благодаря тому, что в качестве эталона измеряемой величины принимают не вектор, а скалярную величину. В гравитационном поле Земли для гироскопов такой скалярной величиной будет являться угловая скорость вращения Земли Ω , а для акселерометров – величина ускорения силы тяжести g .

Постановка задачи

Пусть блок гироскопов и акселерометров (БГА) представляет собой триаду одноосных гироскопов G_x, G_y, G_z и акселерометров A_x, A_y, A_z , связанных с

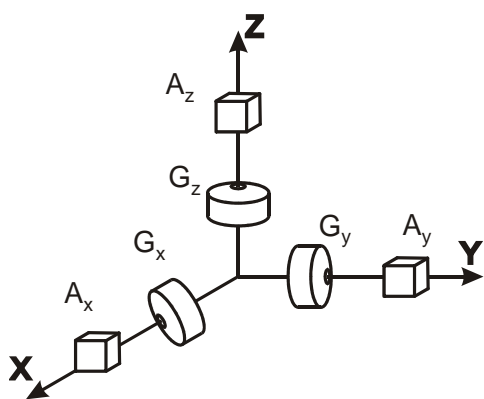


Рис. 1. Блок гироскопов и акселерометров

основанием прибора и осями $Oxyz$ (рис. 1). С учетом погрешностей измерительного тракта (нулевые сигналы, погрешности масштабных коэффициентов), неортогональности осей чувствительности гироскопов и акселерометров, приводящих к перекрестным связям, а также случайных шумов выходные сигналы гироскопов и акселерометров

в первом приближении имеют вид:

$$\begin{aligned} U_{x_G} &= B_{x_G} + (S_{x_G} + E_{x_G})\omega_x + \Delta_{xz_G}\omega_y - \Delta_{xy_G}\omega_z + n_{x_G}; \\ U_{y_G} &= B_{y_G} + (S_{y_G} + E_{y_G})\omega_y - \Delta_{yz_G}\omega_x + \Delta_{yx_G}\omega_z + n_{y_G}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{z_G} &= B_{z_G} + (S_{z_G} + E_{z_G})\omega_z + \Delta_{zy_G}\omega_x - \Delta_{zx_G}\omega_y + n_{z_G}; \\ U_{x_A} &= B_{x_A} + (S_{x_A} + E_{x_A})a_x + \Delta_{xz_A}a_y - \Delta_{xy_A}a_z + n_{x_A}; \\ U_{y_A} &= B_{y_A} + (S_{y_A} + E_{y_A})a_y - \Delta_{yz_A}a_x + \Delta_{yx_A}a_z + n_{y_A}; \\ U_{z_A} &= B_{z_A} + (S_{z_A} + E_{z_A})a_z + \Delta_{zy_A}a_x - \Delta_{zx_A}a_y + n_{z_A}, \end{aligned} \quad (2)$$

где левые части уравнений представляют собой выходные сигналы гироскопов и акселерометров, $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - проекции измеряемой угловой скорости $\vec{\omega}$, a_x, a_y, a_z - проекции измеряемого ускорения \vec{a} , $B_{x_G}, B_{y_G}, B_{z_G}$ - нулевые сигналы гироскопов, $B_{x_A}, B_{y_A}, B_{z_A}$ - нулевые сигналы акселерометров, $S_{x_G}, S_{y_G}, S_{z_G}$ - масштабные коэффициенты гироскопов, $S_{x_A}, S_{y_A}, S_{z_A}$ - масштабные коэффициенты акселерометров, $E_{x_G}, E_{y_G}, E_{z_G}$ - погрешности масштабных коэффициентов гироскопов, $E_{x_A}, E_{y_A}, E_{z_A}$ - погрешности масштабных коэффициентов акселерометров, $n_{x_G}, n_{y_G}, n_{z_G}$ - случайные шумы гироскопов, $n_{x_A}, n_{y_A}, n_{z_A}$ - случайные шумы акселерометров, а из коэффициентов, пропорциональных углам неортогональностей осей приборов [3], можно составить матрицы

$$\begin{bmatrix} 0 & \Delta_{xz_G} & -\Delta_{xy_G} \\ -\Delta_{yz_G} & 0 & \Delta_{yx_G} \\ \Delta_{zy_G} & -\Delta_{zx_G} & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & \Delta_{xz_A} & -\Delta_{xy_A} \\ -\Delta_{yz_A} & 0 & \Delta_{yx_A} \\ \Delta_{zy_A} & -\Delta_{zx_A} & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь в обозначении коэффициента Δ_{xz} первый индекс указывает, что прибор, расположенный на оси ox , повернут вокруг оси oz на угол, пропорциональный Δ_{xz} .

Следует отметить, что линеаризованные выходные сигналы гироскопов вида (1) наиболее точно соответствуют оптикоэлектронным гироскопам (кольцевым лазерным и волоконно-оптическим). Если же рассматривать механические гироскопы (поплавковые или динамически настраиваемые), то выражения (1) следует дополнить слагаемыми, которые описывают погрешности от разбалансированности гироскопа, зависящие от линейного ускорения в первой степени и погрешности от неравножесткости подвеса и опор, зависящие от линейного ускорения во второй степени.

Методика исследований

Калибровку проводим на неподвижном основании в гравитационном поле Земли, поэтому перейдем от кажущегося ускорения \vec{a} к проекциям ускорения силы тяжести \vec{g} и от угловой скорости основания $\vec{\omega}$ к угловой скорости вра-

щення Землі $\vec{\Omega}$. Запишем уравнения (1) и (2) в безразмерной форме. Разделим каждое уравнение выходного сигнала акселерометра на соответствующий масштабный коэффициент и модуль вектора \vec{g} ($g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$) и каждое уравнение выходного сигнала гироскопа на соответствующий масштабный коэффициент и модуль вектора $\vec{\Omega}$ ($\Omega = \sqrt{\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2}$).

Введем новые обозначения безразмерных выходных сигналов и величин правых частей

$$u_{ja} = \frac{U_{jA}}{S_{jA}g}; \bar{g}_j = \frac{g_j}{g}; b_{ja} = \frac{B_{jA}}{S_{jA}g}; e_{ja} = \frac{E_{jA}}{S_{jA}}; n_{ja} = \frac{n_{jA}}{S_{jA}g};$$

$$u_{jg} = \frac{U_{jG}}{S_{jG}\Omega}; \bar{\Omega}_j = \frac{\Omega_j}{\Omega}; b_{jg} = \frac{B_{jG}}{S_{jG}\Omega}; e_{jg} = \frac{E_{jG}}{S_{jG}}; n_{jg} = \frac{n_{jG}}{S_{jG}\Omega}.$$

Здесь $j = x, y, z$, а также

$$\delta_{xz_{a(g)}} = \frac{\Delta_{xz_{A(G)}}}{S_{x_{A(G)}}}; \delta_{xy_{a(g)}} = \frac{\Delta_{xy_{A(G)}}}{S_{x_{A(G)}}}; \delta_{yz_{a(g)}} = \frac{\Delta_{yz_{A(G)}}}{S_{y_{A(G)}}};$$

$$\delta_{yx_{a(g)}} = \frac{\Delta_{yx_{A(G)}}}{S_{y_{A(G)}}}; \delta_{zy_{a(g)}} = \frac{\Delta_{zy_{A(G)}}}{S_{z_{A(G)}}}; \delta_{zx_{a(g)}} = \frac{\Delta_{zx_{A(G)}}}{S_{z_{A(G)}}}.$$

Согласно скалярному способу калибровки, следует вычислить скалярную величину вектора измерений и сравнить его с известным скалярным значением измеряемого вектора.

Поскольку $\bar{g}_x^2 + \bar{g}_y^2 + \bar{g}_z^2 = 1$, а также пренебрегая величинами второго порядка малости, для триады акселерометров получим

$$\frac{1}{2}(u_{xa}^2 + u_{ya}^2 + u_{za}^2 - 1) = (b_{xa} + n_{xa})\bar{g}_x + (b_{ya} + n_{ya})\bar{g}_y + (b_{za} + n_{za})\bar{g}_z +$$

$$+ e_{xa}\bar{g}_x^2 + e_{ya}\bar{g}_y^2 + e_{za}\bar{g}_z^2 + (\delta_{xz_a} - \delta_{yz_a})\bar{g}_x\bar{g}_y + (\delta_{zy_a} - \delta_{xy_a})\bar{g}_x\bar{g}_z +$$

$$+ (\delta_{yx_a} - \delta_{zx_a})\bar{g}_y\bar{g}_z. \quad (3)$$

Аналогично получим для триады гироскопов

$$\frac{1}{2}(u_{xg}^2 + u_{yg}^2 + u_{zg}^2 - 1) = (b_{xg} + n_{xg})\bar{\Omega}_x + (b_{yg} + n_{yg})\bar{\Omega}_y + (b_{zg} + n_{zg})\bar{\Omega}_z +$$

$$+ e_{xg}\bar{\Omega}_x^2 + e_{yg}\bar{\Omega}_y^2 + e_{zg}\bar{\Omega}_z^2 + (\delta_{xz_g} - \delta_{yz_g})\bar{\Omega}_x\bar{\Omega}_y + (\delta_{zy_g} - \delta_{xy_g})\bar{\Omega}_x\bar{\Omega}_z +$$

$$+ (\delta_{yx_g} - \delta_{zx_g})\bar{\Omega}_y\bar{\Omega}_z. \quad (4)$$

Итак, разность между скалярной величиной нормированного измеряемого вектора и его действительным значением, равным единице, пропорциональна погрешностям БГА. Коэффициентами в этой зависимости являются нормирован-

ные значения измеряемого ускорения $\bar{g}_x, \bar{g}_y, \bar{g}_z$ для акселерометров и угловой скорости $\bar{\Omega}_x, \bar{\Omega}_y, \bar{\Omega}_z$ для гироскопов, их степени и произведения.

В уравнениях (3) и (4) искомыми неизвестными являются 18 параметров, которые искажают выходные сигналы БГА. Шесть из них представляют собой разности углов неортогональности осей приборов.

Для калибровки БГА надо в поле силы тяжести поворачивать БГА вокруг определенного направления на фиксированные углы и в каждом положении получать нормированные выходные сигналы. Для решения уравнений (3) и (4) требуется минимум девять положений БГА, т.е. число испытаний должно быть $n \geq 9$. Дело в том, что в каждом положении БГА одновременно измеряются выходные сигналы как гироскопов, так и акселерометров, поэтому минимальное число положений в два раза меньше общего числа искомым параметров.

Представим уравнения (3) и (4) в матрично-блочной форме:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_a \\ \dots \\ \mathbf{u}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G} & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{\Omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{e}_a \\ \dots \\ \mathbf{e}_g \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\mathbf{u}_a, \mathbf{u}_g$ - векторы-столбцы размерности $(n \times 1)$ нормированных выходных сигналов БГА:

$$\mathbf{u}_a = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(u_{xa1}^2 + u_{ya1}^2 + u_{za1}^2 - 1) \\ \frac{1}{2}(u_{xa2}^2 + u_{ya2}^2 + u_{za2}^2 - 1) \\ \dots \\ \frac{1}{2}(u_{xan}^2 + u_{yan}^2 + u_{zan}^2 - 1) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_g = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(u_{xg1}^2 + u_{yg1}^2 + u_{zg1}^2 - 1) \\ \frac{1}{2}(u_{xg2}^2 + u_{yg2}^2 + u_{zg2}^2 - 1) \\ \dots \\ \frac{1}{2}(u_{xgn}^2 + u_{ygn}^2 + u_{zgn}^2 - 1) \end{bmatrix}$$

$\mathbf{G}, \mathbf{\Omega}$ - матрицы нормированных проекций ускорения \bar{g} и угловой скорости $\bar{\Omega}$ размерности $(n \times 9)$:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \bar{g}_{x1} & \bar{g}_{y1} & \bar{g}_{z1} & \bar{g}_{x1}^2 & \bar{g}_{y1}^2 & \bar{g}_{z1}^2 & \bar{g}_{x1}\bar{g}_{y1} & \bar{g}_{x1}\bar{g}_{z1} & \bar{g}_{y1}\bar{g}_{z1} \\ \bar{g}_{x2} & \bar{g}_{y2} & \bar{g}_{z2} & \bar{g}_{x2}^2 & \bar{g}_{y2}^2 & \bar{g}_{z2}^2 & \bar{g}_{x2}\bar{g}_{y2} & \bar{g}_{x2}\bar{g}_{z2} & \bar{g}_{y2}\bar{g}_{z2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{g}_{xn} & \bar{g}_{yn} & \bar{g}_{zn} & \bar{g}_{xn}^2 & \bar{g}_{yn}^2 & \bar{g}_{zn}^2 & \bar{g}_{xn}\bar{g}_{yn} & \bar{g}_{xn}\bar{g}_{zn} & \bar{g}_{yn}\bar{g}_{zn} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{\Omega} = \begin{bmatrix} \bar{\Omega}_{x1} & \bar{\Omega}_{y1} & \bar{\Omega}_{z1} & \bar{\Omega}_{x1}^2 & \bar{\Omega}_{y1}^2 & \bar{\Omega}_{z1}^2 & \bar{\Omega}_{x1}\bar{\Omega}_{y1} & \bar{\Omega}_{x1}\bar{\Omega}_{z1} & \bar{\Omega}_{y1}\bar{\Omega}_{z1} \\ \bar{\Omega}_{x2} & \bar{\Omega}_{y2} & \bar{\Omega}_{z2} & \bar{\Omega}_{x2}^2 & \bar{\Omega}_{y2}^2 & \bar{\Omega}_{z2}^2 & \bar{\Omega}_{x2}\bar{\Omega}_{y2} & \bar{\Omega}_{x2}\bar{\Omega}_{z2} & \bar{\Omega}_{y2}\bar{\Omega}_{z2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{\Omega}_{xn} & \bar{\Omega}_{yn} & \bar{\Omega}_{zn} & \bar{\Omega}_{xn}^2 & \bar{\Omega}_{yn}^2 & \bar{\Omega}_{zn}^2 & \bar{\Omega}_{xn}\bar{\Omega}_{yn} & \bar{\Omega}_{xn}\bar{\Omega}_{zn} & \bar{\Omega}_{yn}\bar{\Omega}_{zn} \end{bmatrix};$$

$\mathbf{e}_a, \mathbf{e}_g$ - векторы-столбцы искомым параметров размерности (9×1) каждый:

$$\mathbf{e}_a = \begin{bmatrix} b_{xa} + n_{xa} \\ b_{ya} + n_{ya} \\ b_{za} + n_{za} \\ e_{xa} \\ e_{ya} \\ e_{za} \\ \delta_{xz_a} - \delta_{yz_a} \\ \delta_{zy_a} - \delta_{xy_a} \\ \delta_{yx_a} - \delta_{zx_a} \end{bmatrix}; \mathbf{e}_g = \begin{bmatrix} b_{xg} + n_{xg} \\ b_{yg} + n_{yg} \\ b_{zg} + n_{zg} \\ e_{xg} \\ e_{yg} \\ e_{zg} \\ \delta_{xz_g} - \delta_{yz_g} \\ \delta_{zy_g} - \delta_{xy_g} \\ \delta_{yx_g} - \delta_{zx_g} \end{bmatrix}.$$

Решая матричное уравнение (5) методом наименьших квадратов (МНК), получим

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{e}}_a \\ \dots \\ \hat{\mathbf{e}}_g \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \mathbf{G} & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{\Omega} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \mathbf{G} & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{\Omega} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{G} & \vdots & \mathbf{0} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{0} & \vdots & \mathbf{\Omega} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{u}}_a \\ \dots \\ \hat{\mathbf{u}}_g \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $\hat{\mathbf{u}}$ - оценки значений \mathbf{u} , $\hat{\mathbf{e}}_a, \hat{\mathbf{e}}_g$ - оценки искоемых параметров БГА.

Благодаря методу наименьших квадратов происходит сглаживание результатов, а так как обычно математическое ожидание шумов равно нулю

$$M\{n_x\} = M\{n_y\} = M\{n_z\} = 0,$$

то оценки параметров $\hat{\mathbf{e}}_a, \hat{\mathbf{e}}_g$ не содержат случайных помех.

Рассмотрим подробнее элементы матриц нормированных проекций ускорения \vec{g} и угловой скорости $\vec{\Omega}$. Зададим ориентацию БГА относительно географической системы координат $o\xi\eta\zeta$ углами Эйлера-Крылова α, β, γ .

Переход от системы координат $o\xi\eta\zeta$ к $oxyz$ определяется матрицей направляющих косинусов

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для неподвижного основания проекции \vec{g} и $\vec{\Omega}$ на оси $oxyz$ в матричной форме имеют вид:

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} 0 \\ \Omega \cos \varphi \\ \Omega \sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (8)$$

здесь φ - широта места.

Используя матричные уравнения (8), получим нормированные проекции ускорения \vec{g} и угловой скорости $\vec{\Omega}$:

$$\begin{aligned} \bar{g}_x &= -a_{13}; & \bar{\Omega}_x &= a_{12} \cos \varphi + a_{13} \sin \varphi; \\ \bar{g}_y &= -a_{23}; & \bar{\Omega}_y &= a_{22} \cos \varphi + a_{23} \sin \varphi; \\ \bar{g}_z &= -a_{33}; & \bar{\Omega}_z &= a_{32} \cos \varphi + a_{33} \sin \varphi. \end{aligned} \quad (9)$$

Следовательно, при решении уравнения (6) выполнение таких вычислительных процедур с матрицами, как транспонирование, перемножение и обращение производится в основном с элементами матрицы \mathbf{A} направляющих косинусов. Причем, если для акселерометров широта местонахождения не влияет на вычисление их погрешностей, то для гироскопов это влияние имеет значение.

Обсуждение полученных результатов исследований

Таким образом, изменяя углы поворота $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i (i = \overline{1, n})$ БГА относительно географической системы координат $o\xi\eta\zeta$, измеряя и нормируя выходные сигналы БГА, по заранее вычисленным элементам матрицы направляющих косинусов, можно с помощью МНК определить погрешности БГА. Отметим, что с ростом числа испытаний $n (n_{\min} = 9)$ происходит сглаживание результатов.

Для тестирования алгоритма скалярной калибровки моделировались выходные сигналы блока акселерометров при следующих нормированных значениях:

$$\begin{aligned} b_{xa} &= b_{ya} = b_{za} = 2 \cdot 10^{-4}; e_{xa} = 2 \cdot 10^{-4}; e_{ya} = e_{za} = 4 \cdot 10^{-4}; \\ \delta_{xz_a} &= 2 \cdot 10^{-4}; \delta_{yz_a} = -2 \cdot 10^{-4}; \delta_{zy_a} = 2 \cdot 10^{-4}; \delta_{xy_a} = -2 \cdot 10^{-4}; \\ \delta_{yx_a} &= 2 \cdot 10^{-4}; \delta_{zx_a} = -2 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

На рис.2 показаны зависимости абсолютного значения относительной погрешности определения нулевых сигналов от числа цифр после запятой в выходных сигналах акселерометров.

Отметим, что графические зависимости абсолютного значения относительной погрешности определения масштабных коэффициентов e_{ya}, e_{xa}, e_{za} и разностей углов неортогональностей $\delta_{xz_a} - \delta_{yz_a}, \delta_{yx_a} - \delta_{zx_a}, \delta_{zy_a} - \delta_{xy_a}$ от числа цифр после запятой в выходных сигналах акселерометров качественно имеют аналогичный рис.2 вид. Очевидно, что алгоритм нормально работает при числе цифр не менее восьми после запятой в выходных сигналах акселерометров.

Кроме того, следует отметить, что при решении матричного уравнения (6) могут возникать вырожденные матрицы.

Для решения этой проблемы углы поворота триады акселерометров должны быть разными, например, углы α могут изменяться от 0° до 360° с шагом 40° , углы β - от 0° до 80° с шагом 10° , а углы γ могут также изменяться от 0° до 360° с шагом 40° .

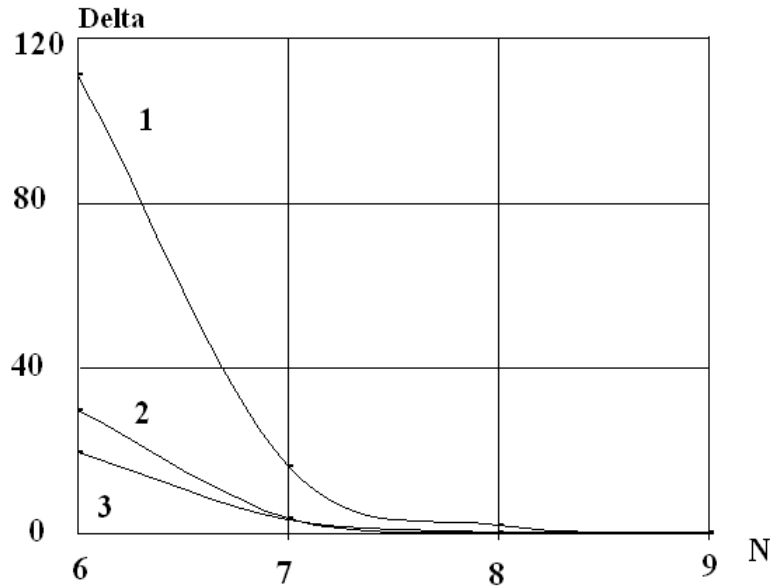


Рис.2. Залежність абсолютного значення відносної погрешності визначення нулевих сигналів від числа цифр після коми в вихідних сигналах акселерометрів. Тут криві 1,2,3 відповідають відносним погрешностям визначення b_{ya} , b_{xa} , b_{za} в процентах

Висновки

Ітак, скалярний спосіб калібрування блоку гіроскопів і акселерометрів має свої як позитивні, так і негативні особливості:

- не потрібно жорстко «прив'язувати» осі поворотної установки до осей БГА;
- одна вибірка поворотів за принципом дозволяє калібрувати як триаду акселерометрів, так і триаду гіроскопів;
- погрешності виставки окремих гіроскопів і акселерометрів (кути неортогональності) пов'язані парами, хоча замовників цікавлять їх окремі значення;
- необхідно мати достатньо високу точність вимірювання нормованих вихідних сигналів датчиків;
- при проведенні розрахунків можуть з'являтися вироджені матриці.

Однак, як показує практичний досвід, зазначені проблеми принципово розвешимі. Специфіка скалярного способу калібрування блоку гіроскопів і акселерометрів привела до зв'язки в пари окремих кутів неортогональності монтажу гіроскопів і акселерометрів. В подальшому слід отримати алгоритми розподілу погрешностей виставки по кожному з гіроскопів і акселерометрів окремо.

Література

1. Titterton D., Weston J., Strapdown Inertial Navigation Technology -2nd Edition, Institution of Electrical Engineers, UK, 2004 -558 p.

2. IEEE Recommended Practice for Inertial Sensors Test Equipment, Instrumentation , Data Acquisition and Analysis. IEEE Aerospace and Electronic Systems Society. IEEE 3 Park Avenue, New York, NY 10016 - 5997, USA- IEEE Std 1554™-2005.
3. Измайлов Е.А., Лепе С.Н., Молчанов А.В., Поликовский Е.Ф. Скалярный способ калибровки и балансировки бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – XV Международная конференция по интегрированным навигационным системам, СПб. 2008, с.145 - 154.

В. В. Аврутов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ПРО СКАЛЯРНЕ КАЛІБРУВАННЯ БЛОКУ ГІРОСКОПІВ ТА АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Розглянуто основні властивості скалярного методу калібрування блоку гіроскопів та акселерометрів, який дозволяє визначати нульові сигнали, похибки масштабних коефіцієнтів та кути неортогональності датчиків, не пред'являючи жорстких вимог до кутової виставки випробувального обладнання та виставки датчиків на випробувальному обладнанні. Однак, необхідно мати достатньо високу точність вимірювання вихідних сигналів датчиків - алгоритм нормально працює, якщо у нормированих вихідних сигналах акселерометрів кількість цифр не менш вісьми після коми.

Ключові слова: калібрування, гіроскоп, акселерометр.

V. V. Avrutov

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ABOUT SCALAR CALIBRATION OF GYRO AND ACCELEROMETERS UNIT

The main features of scalar calibration method of gyroscopes and accelerometers unit are viewed. Using this method it is possible to determine biases, scale factor errors and mounting misalignments of the sensors without special requirements to alignment of test equipment and sensors alignment on the test equipment. But it requires sufficiently high accuracy of measurement of the output signals of sensors - the algorithm works fine when the number of digits is at least eight decimal places in normalized output signals of accelerometers.

Keywords: calibration, gyroscope, accelerometer.

*Надійшло до редакції
05 липня 2010 року*