МПК 8 G01C 17/04

Способ определения магнитных параметров Пуассона

Полезная модель относится к навигационному приборостроению и может быть использована для определения параметров Пуассона с целью их последующего учета для устранения ошибок магнитных компасов.

Целью изобретения является уменьшение трудоемкости и сокращения времени определения параметров Пуассона, используемых для устранения ошибок (магнитных девиаций) магнитных компасов или их ближайших аналогов.

Известно много способов уничтожения девиации магнитных компасов при помощи продольных и поперечных магнитов-уничтожителей, но наиболее широкое распространение получили два основных из них: способ Эри и способ Колонга. При выполнении обоих способов задача заключается в том, чтобы свести к минимуму влияние судовых сил $B\lambda H$ и $C\lambda H$ [1]. Оба способа требуют последовательно устанавливать судно на 4 курса - N, S, E, W.

Способ Эри основан на наблюдении девиации как разности между магнитным и компасным курсами судна. В основу способа Колонга положено измерение магнитных сил, действующих на компас. Для этого необходимо использовать дефлектор, позволяющий измерять индукцию магнитного поля в центре картушки компаса.

Главное достоинство способа Эри - простота выполнения. Не требуется никаких дополнительных приборов. Единственная трудность этого способа - приведение судна на заданные магнитные курсы N, S, E, W. Преимущество способа Колонга перед способом Эри состоит в том, что при его выполнении не требуются береговые или небесные ориентиры, но, по сравнению со способом Эри, он дает меньшую точность, а также требует применения дефлектора. К недостаткам обоих этих способов можно отнести общее время уничтожения девиаций, которое исчисляется часами [1].

Более точную оценку влияния магнитных полей-помех, а значит, и уничтожения этого влияния (т.е. девиации) можно выполнить по параметрам Пуассона.

Наиболее близким является способ определения коэффициентов Пуассона подвижного объекта в точке пространства, жестко связанной с системой координат объекта [2]. Известный способ заключается в измерении модуля вектора магнитной индукции при наличии и отсутствии подвижного объекта в заданной точке пространства, а также в, изменении, по крайней мере, двух из трех углов курса, крена, тангажа объекта, в процессе которого, по измеренным углам, в опорной системе координат, определяют направляющие косинусы каждой оси системы координат объекта относительно чего?. Также в указанном способе требуется измерение проекций векторов магнитной индукции синхронно с измерениями углов курса, крена и тангажа, выбор проекций десяти векторов магнитной индукции, при которых направляющие косинусы осей системы координат различны при каждом измерении упомянутых проекций.

Для реализации известного способа необходимо измерить, по крайней мере по десять значений двух из трех углов курса, крена, тангажа так, чтобы каждый последующий измеренный угол соответствующего типа отличался от предыдущих.

Кроме того, для реализации известного способа следует измерить синхронно с измерением углов курса, крена, тангажа объекта по десять проекций векторов магнитной индукции на каждую ось системы координат объекта, а также модуль вектора магнитной индукции при отсутствии объекта. Следовательно, для определения коэффициентов Пуассона известным способом требуется измерить от двадцати до тридцати значений углов, а также синхронно с измерением этих углов измерить тридцать значений проекций векторов магнитной индукции на оси опорной системы координат.

Таким образом, известный способ связан с большим количеством измерений углов курса, крена, тангажа объекта, измерений проекций векторов магнитной индукции на подвижном объекте, а также с существенным временем обработки результатов измеренных параметров.

В основу предлагаемого способа поставлена задача определения всех девяти коэффициентов Пуассона за кратчайшее время по существенно меньшему от прототипа количеству измерений, что позволит быстро и с высокой точностью компенсировать (уничтожить) девиацию.

Предлагаемый способ определения коэффициентов Пуассона, заключается в следующем.

Магнитное поле в конкретной точке объекта описывают уравнениями Пуассона [1]:

$$
\begin{aligned}
X' &= X + aX + bY + cZ + P;\\
Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q;\\
Z' &= Z + gX + hY + kZ + R;
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Представим модель (1) в векторно-матричной форме.

$$\vec{\mathbf{T}}' = (\mathbf{I} + \mathbf{F})\mathbf{C}\vec{\mathbf{T}}_g + \vec{\mathbf{M}}, \qquad (2)$$

где $\vec{\mathbf{T}}' = [X' \quad Y' \quad Z']^T$ - вектор индукции магнитного поля объекта в осях объекта, $\mathbf{I}$ - единичная матрица, $\mathbf{F} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$ - матрица параметров магнито-мягкого железа, $\vec{\mathbf{T}}_g = [0 \quad H \quad -Z]^T$ - вектор индукции магнитного поля Земли (МПЗ), представленный горизонтальной H и вертикальной Z составляющими,

$\vec{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} P & Q & R \end{bmatrix}^T$ - вектор параметров магнито-твердого железа. $\mathbf{C} = f(\psi_м, \vartheta, \gamma)$ - матрица направляющих косинусов между сопровождающим $\mathbf{g}$ и связанным с подвижным объектом ***b*** базисами, взаимное положение которых задано углами магнитного курса $\psi_м$, дифферента θ и крена γ:

$$\begin{array}{c|ccc} C^{bg} & \xi_м & \eta_м & \zeta \\ \hline x_c & \cos\gamma\cos\psi_м + \sin\gamma\sin\theta\sin\psi_м & -\cos\gamma\sin\psi_м + \sin\gamma\sin\theta\cos\psi_м & -\sin\gamma\cos\theta \\ y_c & \cos\theta\sin\psi_м & \cos\theta\cos\psi_м & \sin\theta \\ z_c & \sin\gamma\cos\psi_м - \cos\gamma\sin\theta\sin\psi_м & -\sin\gamma\sin\psi_м - \cos\gamma\sin\theta\cos\psi_м & \cos\gamma\cos\theta \end{array}. \quad (3)$$

Компоненты вектора $\mathbf{T}$ в результате имеют вид

$$X = H(\cos\psi_м \sin\theta\sin\gamma + \sin\psi_м \cos\gamma) + Z_g \cos\theta\sin\gamma,$$
$$Y = H\cos\psi_м \cos\theta - Z_g \sin\theta,$$
$$Z = -H(-\sin\psi_м \sin\gamma + \cos\psi_м \cos\gamma\sin\theta) - Z_g \cos\theta\cos\gamma \ .$$

Магнитный курс связан с истинным курсом ψ соотношением $\psi_м = \psi - D$, где D - магнитное склонение.

На фиг. 1 изображены углы и системы координат. Составляющие $\vec{\mathbf{T}}'$ измеряют трехосным магнитометром, вектор выходных сигналов которого обозначим $\tilde{\mathbf{T}}'$. Направляющие косинусы (3) определяют по показаниям гирогоризонткомпаса с учетом магнитного склонения D, определяемого из карт или таблиц МПЗ. Составляющие МПЗ можно легко определить, например, с помощью калькулятора *National Geophisical Data Centre.* Для этого необходима информация о координатах объекта, которая может быть получена от спутникового приемника. В результате от (2) перейдем к соотношению

$$\tilde{\mathbf{T}}' - \tilde{\mathbf{C}}\tilde{\mathbf{T}}_g = \mathbf{FC}\vec{\mathbf{T}}_g + \vec{\mathbf{M}} = \mathbf{F}\vec{\mathbf{T}} + \vec{\mathbf{M}}. \quad (4)$$

Волной в этом выражении отмечены измеренные или вычисленные значения. Таким образом, получим вектор разностей

$$\vec{\Delta} = \tilde{\mathbf{T}}' - \tilde{\mathbf{C}}\tilde{\mathbf{T}}_g.$$

При движении объекта в процессе качки или циркуляции снимаем ряд значений

$$\vec{\Delta}_i = \mathbf{F}\vec{\mathbf{T}}_i + \vec{\mathbf{M}}, \quad (5)$$

где i – номер измерения.

При количестве измерений i=1…n

$$\begin{bmatrix} \Delta X_1 \dots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \dots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \dots \Delta Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i \dots X_n \\ Y_i \dots Y_n \\ Z_i \dots Z_n \\ 1 \dots 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Введем обозначения матриц

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \Delta X_1 \ldots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \ldots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \ldots \Delta Z_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} X_i \ldots X_n \\ Y_i \ldots Y_n \\ Z_i \ldots Z_n \\ 1 \ldots 1 \end{bmatrix}.$$

Тогда (6) в компактном виде будет

$$\mathbf{B = S{\cdot}A}.$$

Воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК) в пакетной форме [4]

$$\widehat{S} = \mathbf{B{\cdot}A^+} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}^{\mathrm{T}} \cdot \left(\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^{-1},$$

где матрица $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^{\mathrm{T}} \cdot \left(\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^{-1}$ называется псевдообратной, или в другой форме [3]

$$\widehat{S}^{\mathrm{T}} = (\mathbf{N}^{\mathrm{T}}\mathbf{N})^{-1}\mathbf{N}^{\mathrm{T}}\mathbf{B}^{\mathrm{T}}, \quad \text{где} \ \ \mathbf{N} = \mathbf{A}^{\mathrm{T}}.$$

В результате найдем оценки параметров Пуассона $\widehat{S}$, соответствующие матрице параметров **S.**

Для полной оценки всех параметров движение корабля должно быть пространственным, т.е. качка должна быть как минимум двухосной или же одноосную качку следует дополнить циркуляцией. Для выполнения оценки необходимы как минимум 4 шага измерений. Шаг измерений во времени имеет величину единиц секунд. Случайность качки способствует повышению качества оценки. Увеличение количества измерений способствует сглаживанию влияния случайных ошибок измерителей. Рассмотрим путем моделирования, как точно можно определить девиацию при таких оценках.

Рассчитаем девиацию по формуле [5]

$$\delta = \psi_{м} - arctg \frac{-(X'\cos\gamma + Z'\sin\gamma)}{(X'\sin\gamma - Z'\cos\gamma)\sin\theta + Y'\cos\theta}. \qquad (7)$$

Затем рассчитаем девиацию δ_1 по такой же формуле, где вместо составляющих магнитного поля объекта (1) используем составляющие с оценками параметров Пуассона:

$$\widehat{X}' = X + \widehat{a}X + \widehat{b}Y + \widehat{c}Z + \widehat{P},$$

$$\widehat{Y}' = Y + \widehat{d}X + \widehat{e}Y + \widehat{f}Z + \widehat{Q},$$

$$\widehat{Z}' = Z + \widehat{g}X + \widehat{h}Y + \widehat{k}Z + \widehat{R}.$$

В результате получим ошибку оценки девиации $\Delta_\delta = \delta - \delta_1$ (Фиг.2).

Литература

1. Воронов В.В., Григорьев Н.Н., Яловенко А.В. Магнитные компасы. – СПб.: "Элмор", 2004. – 188 с.

2. Патент РФ N 2096818, G 05 D 1/08, 1997.

3. Сейдж С., Мелс Дж. Теория оценивания и её применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. –496с

4. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД - Сервис, 2011. – 172с.

5. Одинцов А.А., Мелешко В.В., Шаров С.А. Ориентация объектов в магнитном поле Земли. - Киев.: «Корнийчук», 2008. – 160 с.

Проректор по научной работе М.Е. Ильченко