

УДК 629.7.05

Комплексирование датчиков системы ориентации, работающей в условиях магнитных возмущений

В.В. Коваленко

В докладе рассматривается возможность совместной обработки информации от микромеханических чувствительных элементов – измерителей параметров существенно различной физической природы (угловой скорости, ускорения и напряженности магнитного поля Земли) для получения достоверной информации в условиях внешних помех.

Ключевые слова: ориентация; угловая скорость; ускорение; напряженность магнитного поля; помехи.

Современные микроминиатюрные датчики позволяют построить малогабаритную систему ориентации, решающую задачу определения, например таких удобных для использования человеком параметров ориентации, как углы Эйлера, в частности, – направления возможного движения человека-оператора, т.е. курса. Этот параметр чаще всего измеряют по отношению к направлению на географический север в горизонтальной системе координат, в которой оператора может интересовать не только направление перемещения, но и текущие координаты местоположения. Этим задачам в их совокупности в наибольшей степени соответствует компоновка системы тремя группами датчиков (исполненных по МЭМС технологии): датчики угловой скорости (ДУСы), акселерометры (А) и магнитометры (М), – все либо трёхкомпонентного исполнения, либо включающие по три однокомпонентных датчика для измерения всех составляющих измеряемых векторов [1,2].

Естественно, что упомянутые задачи существенно различаются по сложности в зависимости от условий движения или же покоя основания. Наиболее просто находится решение задачи определения ориентации системы координат, связанной с осями чувствительности приборов, при помощи например, только датчиков угловой скорости (решением соответствующих уравнений Пуассона при известных начальных условиях).

Структура устройства предполагает использование микромеханических гироскопов и измерителя скорости движения аппарата относительно воды с помощью ЛАГа (измерителя относительной скорости приемлемого исполнения).

Типичная схема системы ориентации и определения местоположения для малогабаритного подводного объекта приведена на рисунке 1.

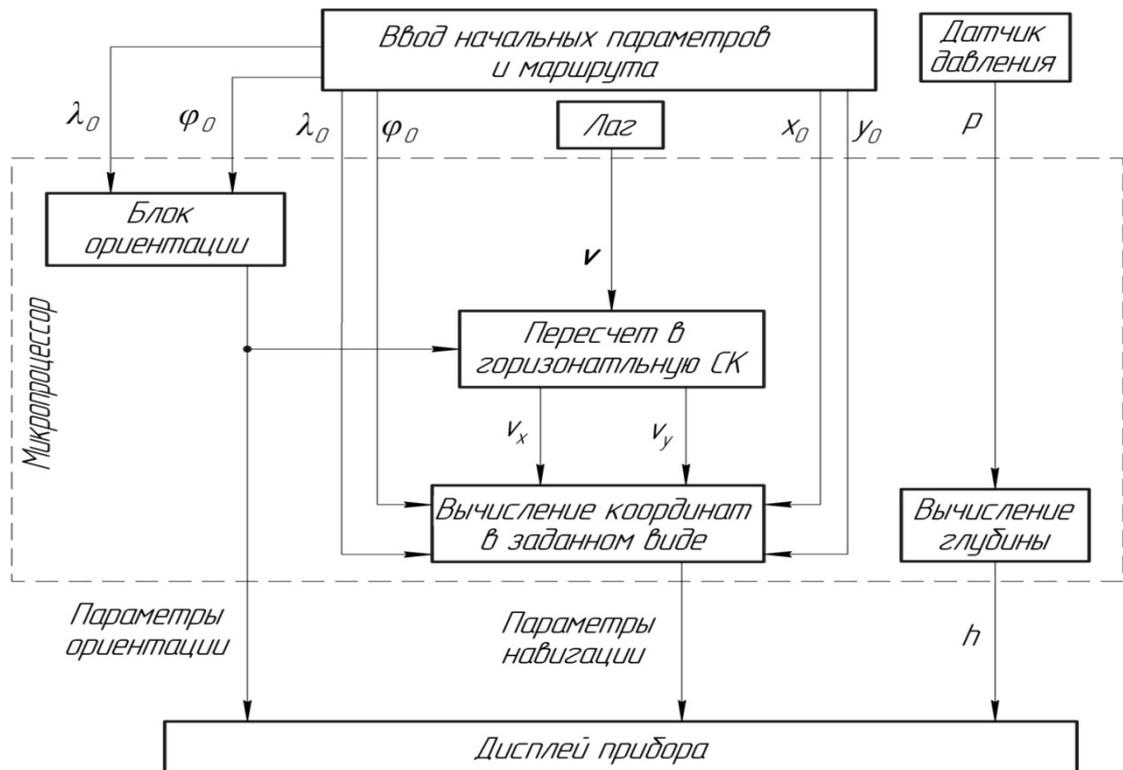


Рис. 1 Схема построения системы

Система предполагает нахождение в конечном счете текущих координат подводного объекта, что требует как введения начальных условий по ориентации связанных осей, так и задания начальных координат объекта (φ , λ).

Положение связанных осей объекта относительно горизонтального географического трехгранника определяется тремя углами, которые традиционно определяются как углы курса, тангажа и крена. При этом относительная ориентация связанного трехгранника в горизонтальной географической системе координат определяется по показаниям ДУСов:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \int_0^t \frac{1}{\cos \theta} (\omega_z^{omh} \cos \gamma - \omega_x^{omh} \sin \gamma) dt + \psi_0, \\ \gamma &= \int_0^t (\omega_y^{omh} - \operatorname{tg} \theta (\omega_z^{omh} \cos \gamma - \omega_x^{omh} \sin \gamma)) dt + \gamma_0 \\ \theta &= \int_0^t (\omega_z^{omh} \sin \gamma + \omega_x^{omh} \cos \gamma) dt + \theta_0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь проекции относительной угловой скорости связанной системы координат (СК) относительно горизонтальной могут быть легко получены с учетом проекций угловой скорости вращения Земли и матрицы взаимной ориентации упомянутых систем координат:

$$A = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \gamma & \sin \psi \sin \gamma \sin \theta & \cos \gamma \sin \psi + \sin \theta \sin \gamma \cos \psi & \sin \gamma \cos \theta \\ \sin \psi \cos \theta & & \cos \theta \cos \psi & \sin \theta \\ \cos \psi \sin \gamma + \sin \theta \cos \gamma \cos \psi & \sin \psi \sin \gamma & \cos \psi \sin \theta \cos \gamma & \cos \gamma \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \omega_x^{omh} \\ \omega_y^{omh} \\ \omega_z^{omh} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \omega_{x_{\Gamma}} \\ \omega_{y_{\Gamma}} \\ \omega_{z_{\Gamma}} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \omega_x^{abc} \\ \omega_y^{abc} \\ \omega_z^{abc} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \omega_{x_{\Gamma}} &= 0; \\ \omega_{y_{\Gamma}} &= U \cos \varphi; \\ \omega_{z_{\Gamma}} &= U \sin \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Но эта возможность не может быть использована без комплексирования с измеряемыми параметрами иной физической природы, – тоже решающими задачу определения ориентации, – акселерометрами и магнитометрами, поскольку использование только ДУСов вызывает неприемлемый рост ошибок в течение малого времени применения (во всяком случае для сегодняшнего уровня производства микромеханических гироскопов). В этой связи представляется более приемлемым измерение курса с помощью магнитометрических чувствительных элементов, если измерять горизонтальные составляющие вектора напряженности (**H**) магнитного поля Земли (МПЗ).

Проекции вектора **H** (H_x , H_y , H_z) на оси связанной системы координат соответствуют показаниям магнитометров, оси чувствительности которых направлены по этим осям. Выражения, связывающие показания магнитометров с известными проекциями вектора напряженности на оси горизонтальной географической системы координат могут быть представлены как:

$$\left. \begin{aligned} H_x &= H_{\Gamma} \sin \psi_m \cos \gamma - H_{z_{\Gamma}} \cos \nu \sin \gamma + H_{\Gamma} \cos \psi_m \sin \nu \sin \gamma, \\ H_y &= H_{\Gamma} \cos \psi_m \cos \nu + H_{z_{\Gamma}} \sin \nu, \\ H_z &= H_{\Gamma} \sin \psi_m \sin \gamma + H_{z_{\Gamma}} \cos \nu \cos \gamma - H_{\Gamma} \cos \psi_m \sin \nu \cos \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

откуда после преобразований легко получить выражение, которое может быть использовано для вычисления магнитного курса ψ_m по показаниям H_x , H_z и измеренному значению угла γ при угле $\nu=0$.

$$H_{\Gamma} \sin \psi_m = H_x \cos \gamma + H_z \sin \gamma, \quad (6)$$

и определить угол курс ψ_m по показаниям H_y и значениям ν при $\gamma=0$.

$$\sin \psi_m = \frac{(H_y \cos \gamma + H_z \sin \gamma)}{H_{\Gamma}}, \quad (7)$$

где $H_{г}$ – горизонтальная составляющая вектора напряженности МПЗ.

Для горизонтального расположения осей x и y связанной системы координат (при $\theta=0$ и $\gamma=0$), курс $\psi_{м}$ можно определить как:

$$\psi_{м} = \arctg \frac{H_x}{H_y}. \quad (8)$$

Очевидно, что при измеренных показаниях магнитометров можно определить магнитный курс с точностью, зависящей от погрешностей измерений компонент магнитометрами.

Пересчет магнитного курса в географический осуществляется на основании информации об угле магнитного склонения d . Вычисление значения угла магнитного склонения может быть осуществлена, если известны координаты объекта: широта φ и долгота λ начальные и текущие, вычисляемые в системе. Тогда курс в географической системе координат определится выражением

$$\psi = \psi_{м} + d = \arctg \frac{H_x}{H_y} + d. \quad (9)$$

Но измерения проекций горизонтальной составляющей напряженности МПЗ возможны:

а) при горизонтальной ориентации осей чувствительности магнитометров одновременно (и тогда используется выражение 8);

б) либо оси чувствительности магнитометров «проходят» плоскость горизонта поочередно, например, при колебаниях измерительных осей относительно плоскости горизонта на качке (и тогда для вычисления курса используются поочередно выражения 6 и 7) в моменты прохождения горизонта.

Но решение задачи ориентации осей чувствительности в плоскости горизонта возможно с помощью группы датчиков – акселерометров при прохождении ими положения горизонта при условии отсутствия горизонтального ускорения устройства под действием активных сил, что может потребовать остановки движения основания, например подводного аппарата. Этот способ измерения курса, использующий три группы датчиков является предпочтительным для измерения курса и, как следствие, и для решения задачи определения в дальнейшем текущих координат.

Блок-схема устройства приведена на рис.2.

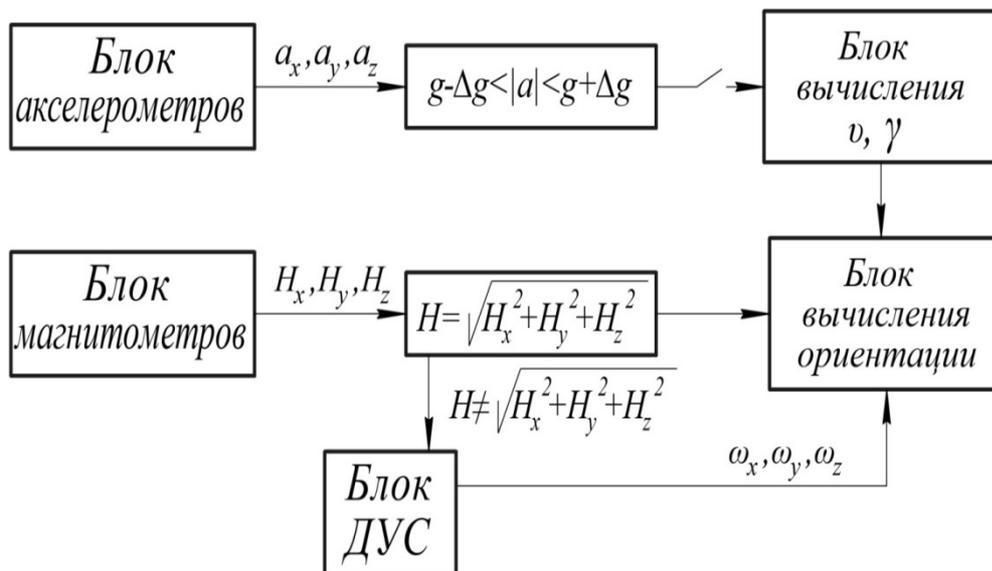


Рис.2. Блок - схема устройства определения ориентации

Одновременно подобная компоновка системы позволяет решить и задачу распознавания возможной помехи, искажающей показания магнитометров.

Условие отсутствия переносного движения основания легко проверяется с использованием выполнения условия

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = g, \quad (10)$$

где значение g – известное для данных координат места измерений. При этом необходимо учитывать основную погрешность акселерометров, определяемую порогом чувствительности, которая как причина не горизонтальности приведет и к погрешности измерения курса с помощью «горизонтальных» магнитометров.

А выражения для вычисления требуемых параметров ориентации будут

$$\begin{aligned} a_x &= -g \cos \nu \sin \gamma \\ a_y &= -g \sin \nu \\ a_z &= -g \cos \nu \cos \gamma \end{aligned}, \quad (11)$$

откуда

$$\nu = \arcsin\left(\frac{a_y}{g}\right); \quad (12')$$

$$\gamma = \begin{cases} -\arcsin\left(\frac{a_x}{g \cos \nu}\right), a_z < 0, \\ \arcsin\left(\frac{a_x}{g \cos \nu}\right) + \pi, a_z > 0, a_x < 0, \\ \arcsin\left(\frac{a_x}{g \cos \nu}\right) - \pi, a_z > 0, a_x > 0. \end{cases} \quad (12'')$$

Одновременное использование упомянутых групп датчиков позволяет избежать и погрешностей, вызванных изменением компонент напряженности МПЗ, обусловленных наличием помехи различной по причине, например, подводный затонувший объект, подводный кабель и т.п. В этом случае имеет смысл в качестве оценки существования помехи можно использовать условие:

$$\sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \neq H \quad (13)$$

В этих условиях определение ориентации связанного трёхгранника имеет смысл осуществлять по показаниям трехкомпонентного ДУСа, используя значения углов ориентации, определённые непосредственно перед обнаружением помехи. Эта задача может решаться в течение короткого промежутка времени (времени прохождения объекта помехи) путём решения известных уравнений Пуассона.

Таким образом, комплексное использование трёх групп датчиков позволяет практически повысить точность определения требуемых параметров ориентации в условиях существования помех, а вследствие этого и повысить точность определения текущих координат определения местоположения путем интегрирования показаний ЛАГа, ось чувствительности которого может быть ориентирована по связанной оси “х”, ориентация которой и определяется системой ориентации.

Библиографический список

1. Распопов, В.Я. Микросистемная авионика: учебное пособие. – Тула: «Гриф и К», 2010. – 248 с.
2. Распопов, В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов / Под общ. ред. д.т.н. В.Я. Распопова. – Спб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.

Integration of system sensors of the orientation working in the conditions of magnetic indignations

V. V. Kovalenko

Possibility of joint information processing from micromechanical sensitive elements – measuring instruments of parameters of significantly various physical nature (angular speed, acceleration and intensity of a magnetic field of Earth) for receiving reliable information in the conditions of external hindrances is considered.

Keywords: orientation; angular speed; acceleration; intensity of a magnetic field; hindrances.

References

1. Raspopov V. Ya. *Mikrosistemnaya avionika: uchebnoe posobie* [Microsystem Avionics: Manual]. Tula, "Grif and K" Publ., 2010, 248 p.
2. V. V. Matveev, V. Ya. Raspopov *Osnovy postroeniya besplatformennykh inertsiyal'nykh navigatsionnykh sistem* [Construction bases of strapdown inertial navigation systems]. SPb., GNTs Russian Federation JSC Kontsern Central Research Institute Elektropribor Publ., 2009, 280 p.