

Сущенко О.А., к.т.н. (НАУ, Украина), Кохан Ю.Н., Сайфетдинов Р.А. (КЗА им. Г.И. Петровского, Украина), Д.О. Войтков (НАУ, Украина)

УПРАВЛЕНИЕ ПРИВЕДЕНИЕМ К ГОРИЗОНТУ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрены особенности алгоритмического обеспечения средств определения пространственной ориентации подвижного объекта в режиме приведения к горизонту. Предложены выражения для управляющих и корректирующих моментов.

Вступление

На современном этапе развития навигации к средствам определения пространственного положения подвижных объектов предъявляются повышенные требования по точности с одновременным снижением массогабаритных характеристик, а также расширению функциональных возможностей. В этой связи в последнее время в качестве чувствительных элементов таких систем широкое распространение получили динамически настраиваемые гироскопы, к преимуществам которых относятся низкие массогабаритные характеристики и энергопотребление, высокая технологичность и относительно низкая стоимость. Следует отметить, что гироскопические средства определения пространственной ориентации по-прежнему имеют большое значение для навигации подвижных объектов, несмотря на развитие альтернативных средств навигации, например, глобальных спутниковых навигационных систем. При этом существуют два принципиальных подхода к созданию гироскопических средств определения пространственной ориентации: использование платформенных и бесплатформенных систем. В наиболее ответственных случаях при наличии высоких требований по точности наиболее предпочтительным является использование платформенных систем.

Современные средства определения пространственного положения подвижного объекта, использующие стабилизированную платформу, характеризуются сложным алгоритмом работы. Это обуславливается необходимостью приведения платформы к горизонту и ее стабилизации относительно плоскостей горизонта и меридиана, положение которых непрерывно изменяется в пространстве вследствие вращения Земли и движения объекта.

Анализ последних исследований и публикаций

В современной литературе значительное внимание уделяется моделям погрешностей систем определения подвижных объектов. Достаточно полно особенности применения в таких системах в качестве чувствительных элементов динамически настраиваемых гироскопов освещаются в [1, 2, 3, 4]. Так, в работах [3, 4] представлены математические модели погрешностей малогабаритного корректируемого гирокомпаса и указателя крена и курса, чувствительные элементы которых располагаются на платформах, помещенных в трехосный и двухосный кардановые подвесы соответственно. Но в перечисленных работах отсутствует подробное исследование особенностей формирования управляющих и корректирующих моментов, а также анализ влияния выбранной кинематической схемы на вид и выбор соответствующих соотношений. Следует отметить, что последней мировой тенденцией развития средств определения пространственного положения объекта является создание систем, объединяющих в себе гирокомпас, гировертикаль и акселерометры, что позволяет не только выполнять коррекцию гировертикали, тем самым превращая ее в инерциальную невозмущаемую вертикаль, но и обеспечивать получение информации о линейной скорости объекта. Наиболее подробно система такого рода описана в [3].

Отличительные особенности алгоритмов систем определения параметров ориентации также достаточно широко освещены в литературе, например, [4], но, как правило, при этом особенности управления в отдельных режимах работы систем не рассматриваются.

Постановка задачи

Целью данной работы является исследование особенностей управления системы определения параметров ориентации подвижного объекта в режиме приведения к горизонту.

Особенности исследуемой системы

Рассмотрим систему определения пространственного положения подвижного объекта, в состав которой входят два динамически настраиваемых гироскопа, которые могут соответственно использоваться в качестве гировертикали и курсового гироскопа, а также три акселерометра, оси чувствительности которых направлены по вертикальной и горизонтальным осям.

Стабилизация платформы в плоскости горизонта осуществляется по сигналам гировертикали. Сама же гировертикаль устанавливается в плоскость горизонта с помощью сигналов акселерометров и интегрирующих контуров, настроенных на период Шулера, что обеспечивает невозмущаемость вертикали. В целом система обеспечивает определение крена, дифферента и курса. Кроме того курсовой прибор может использоваться в качестве указателя направления, то есть гироазимута.

К особенностям такой системы принадлежит распределение функций управления. Управление гировертикалью осуществляется по сигналам акселерометров, а согласование направления нормали к стабилизированной платформе осуществляется с помощью двигателей стабилизации. Такое распределение функций позволяет формировать относительно небольшие по величине моменты управления датчиками момента гировертикали.

Важной особенностью является также использование двухосного, а не трехосного подвеса. В этом случае платформа поворачивается вместе с подвижным объектом в азимутальном направлении в отличие от случая традиционного трехосного подвеса, обеспечивающего постоянную ориентацию внешней рамки карданового подвеса платформы на Север. Эта особенность приводит к появлению возмущений, обусловленных изменением курса подвижного объекта.

Следующей важной особенностью является наличие акселерометра, установленного по вертикальной оси, что вносит свои особенности в процесс формирования управляющих и корректирующих моментов.

Формирование моментов управления во многом определяется особенностями конкретного режима работы системы определения параметров ориентации. Основными режимами работы рассматриваемой системы являются режим приведения платформы к горизонту, режим работы курсового прибора в качестве гирокомпаса и режим работы курсового прибора в качестве гироазимута.

Особенности управления в режиме приведения к горизонту

Режим приведения к горизонту можно разделить на режимы предварительного и точного приведения к горизонту. В режиме предварительного приведения к горизонту стабилизация платформы в плоскости горизонта осуществляется до проведения калибровки, в условиях отсутствия информации от гировертикали. Эти различия и обуславливают отличительные особенности в формировании управляющих моментов. В режиме предварительного приведения к горизонту стабилизация платформы осуществляется по сигналам акселерометров, в режиме же точного приведения к горизонту управление платформой осуществляется по сигналам гировертикали. При этом в обоих случаях де-

мпфирование осуществляется по сигналам датчиков углов, установленных в подвесе платформы.

В режиме предварительного приведения к горизонту моменты управления предлагается формировать таким образом:

$$M_x = k_y \delta_y + k_\theta \dot{\theta}; \quad M_y = k_x \delta_x + k_\gamma \dot{\gamma};$$

где k_x, k_y – коэффициенты передачи, δ_x, δ_y – сигналы акселерометров, $\dot{\theta} = \theta/t$, $\dot{\gamma} = \gamma/t$ определяются по сигналам датчиков углов, размещенных на соответствующих осях карданового подвеса с учетом времени цикла управления системы;

Моменты стабилизации в режиме точного приведения к горизонту определяются по соотношениям

$$M_x = k_1 \theta_{ГВ} + k_3 \dot{\theta}; \quad M_y = k_2 \gamma_{ГВ} + k_4 \dot{\gamma};$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты передачи, $\gamma_{ГВ}, \theta_{ГВ}$ – сигналы с углов датчиков гироскопа, который выполняет функции гировертикали.

Точное приведение платформы к горизонту осуществляется по схеме невозмущенной инерциальной вертикали с интегральной коррекцией [4, 5]. Управление датчиками момента гировертикали может осуществляться с помощью вычислительного устройства. При этом моменты интегральной коррекции предлагается формировать в следующем виде:

$$M_{x1} = \frac{H}{R_2} \int_0^t w_x dt; \quad M_{y1} = \frac{H}{R_2} \int_0^t w_y dt,$$

где H – кинетический момент, R_2 – главный радиус кривизны поверхности земного эллипсоида в плоскости меридиана. Исходными сигналами для реализации интегральной коррекции являются сигналы акселерометров, оси чувствительности которых направлены по осям x, y платформы, совпадающим с осями горизонтальной траекторной системы координат ξ, η .

Собственно интегрирование осуществляется по сигналам акселерометров с учетом поправок на переносные и кориолисовы ускорения. Наличие акселерометра, установленного по вертикальной оси, позволят вводить поправку на погрешность от вертикальной составляющей скорости объекта. Учет влияния переносных и кориолисовых ускорений может осуществляться на основании следующих выражений:

$$\begin{aligned} \Delta_1 w_x = & v_\zeta [(v_\eta \sin k + v_\xi \cos k) \cos k / R_1 - \\ & - (v_\eta \cos k - v_\xi \sin k) \sin k / R_2 + \Omega \cos \varphi \cos k] - \\ & - v_\eta [(v_\eta \sin k + v_\xi \cos k) \operatorname{tg} \varphi / R_1 - \dot{k} + \Omega \sin \varphi] - \\ & - v_\eta \Omega \sin \varphi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 w_y = & v_\xi [(v_\eta \sin k + v_\xi \cos k) \operatorname{tg} \varphi / R_1 - \dot{k} + \Omega \sin \varphi] - \\ & - v_\zeta [(v_\xi \cos k + v_\eta \sin k) \sin k / R_1 - \\ & - (v_\eta \cos k - v_\xi \sin k) \cos k / R_2 - \\ & - \Omega \cos \varphi \sin k] + \Omega \cos \varphi \sin k; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 w_z = & v_\eta [(v_\eta \sin k + v_\xi \cos k) \sin k / R_1 - \\ & - (v_\eta \cos k - v_\xi \sin k) \cos k / R_2 + \Omega \cos \varphi \cos k] - \\ & - v_\xi [(v_\eta \sin k + v_\xi \cos k) \cos k / R_1 - \\ & - (v_\eta \cos k - v_\xi \sin k) \sin k / R_2 + \Omega \cos \varphi \cos k] - \\ & - v_\xi \Omega \cos \varphi \cos k - v_\eta \Omega \cos \varphi \sin k; \end{aligned}$$

где v_ξ, v_η, v_ζ – проекции линейной скорости объекта на оси горизонтальной траекторной системы координат; k – курс объекта; R_1 – главный радиус кривизны поверхности сфероиды в плоскости первого вертикала; φ – широта; Ω – скорость Земли. При этом [5]

$$R_1 = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}; R_2 = \frac{a(1 - e^2)}{\left(\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}\right)^{3/2}},$$

тут a, b – большая и малая полуоси земного сфероиды, e – эксцентриситет.

Влияние вертикального ускорения может быть определено следующим образом:

$$\Delta_2 w_x = k_{\zeta x} \dot{v}_\zeta \theta_{ГВ}; \Delta_2 w_y = k_{\zeta y} \dot{v}_\zeta \dot{\gamma}_{ГВ}, \quad \dot{v}_\zeta - \Delta_1 w_z,$$

где \dot{v}_ζ – вертикальное ускорение, $k_{\zeta x}, k_{\zeta y}$ – коэффициенты передачи.

Для учета вращения Земли на датчики моментов гировертикали необходимо подавать корректирующие моменты:

$$M_{x2} = H\Omega \cos \varphi \cos k; M_{y2} = H\Omega \cos \varphi \sin k.$$

Кроме того в режиме приведения к горизонту целесообразно осуществлять компенсацию систематической составляющей дрейфа, определенной в процесс калибровки. Необходимость ввода такого корректирующего момента особенно актуальна для динамически настраиваемых гироскопов.

$$M_{x3} = k_{\Delta x} \dot{\alpha}_\Delta; M_{y3} = k_{\Delta y} \dot{\beta}_\Delta,$$

где $k_{\Delta x}, k_{\Delta y}$ – коэффициенты передачи, $\dot{\alpha}_\Delta, \dot{\beta}_\Delta$ – составляющие дрейфа гировертикали относительно осей y, x соответственно.

И наконец, демпфирование платформы целесообразно осуществлять следующим способом

$$M_{x4} = k_{1B} \int_0^t (v_{By} - v_y) / R_2 dt; M_{y4} = k_{2B} \int_0^t (v_{Bx} - v_x) / R_1 dt,$$

где k_{1B}, k_{2B} – коэффициенты передачи, v_{Bx}, v_{By} – составляющие линейной скорости объекта, определенные при помощи средств внешней коррекции, v_x, v_y – составляющие линейной скорости объекта, определенные по показаниям акселерометров.

Выводы

Рассмотрены основные особенности формирования управляющих и корректирующих моментов системы определения параметров ориентации в режиме приведения к горизонту.

Список литературы

1. Павловский М.А. Теория гироскопов. – К.: Вища школа, 1986. – 304 с.
2. Смирнов Е.Л., Яловенко А.В., Якушенко А.А. Технические средства судовождения. – М.: Транспорт, 1988. – 376 с.
3. О.И. Нестеренко, В.В. Аврутов. Математическая модель малогабаритного корректируемого гирокомпаса с динамически настраиваемым гироскопом. // Вестник приборостроения. – К.: 1995. – С.24–33.
4. О.В. Збруцький, О.І. Нестеренко, А.В. Шевчук Математична модель однієї схеми курсокренопоказчика. / Механіка гіроскопічних систем. – С. 154–167.
5. Ривкин С.С. Теория гироскопических устройств. Т. II – Л.: Судостроение, 1964. – 548 с.