



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

М. В. Шамолин, Е. П. Кругова, Задача диагностики модели гиросtabilизированной платформы, *Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз.*, 2019, том 160, 137–141

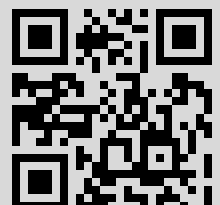
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 212.34.48.131

12 ноября 2020 г., 17:23:18





ЗАДАЧА ДИАГНОСТИКИ МОДЕЛИ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2019 г. М. В. ШАМОЛИН, Е. П. КРУГОВА

Аннотация. Работа посвящена исследованию движения гиростабилизированной платформы — некоторой площадки, удерживаемой в заранее заданном положении системой гироскопов и не участвующей в колебаниях корпуса летательного аппарата (ЛА). Такая система применяется в основном для определения углового положения самого ЛА. Приводится краткий обзор ключевых результатов по данному вопросу без подробных доказательств.

Ключевые слова: задача контроля, задача диагностирования, летательный аппарат, гиростабилизированная платформа.

DIAGNOSTIC PROBLEM FOR A MODEL OF A GYROSTABILIZED PLATFORM

© 2019 M. V. SHAMOLIN, E. P. KRUGOVA

ABSTRACT. This paper is devoted to the study of the motion of a platform maintained on an aircraft in a predetermined position by a system of gyroscopes, which does follows oscillations of the aircraft. Such systems are used for determining the angular position of the aircraft. We briefly review key results on this issue without detailed proofs.

Keywords and phrases: monitoring problem, diagnostic problem, aircraft, gyrostabilized platform.

AMS Subject Classification: 34K35, 70E05

1. Введение. Как уже отмечалось ранее (см. [1, 2, 12]), задача дифференциальной диагностики функционального состояния объектов управления может быть сведена к двум самостоятельным последовательно решаемым задачам: задаче контроля, т.е. установлению критерия наличия неисправности в системе, и задаче диагностирования, т.е. поиску случившейся неисправности. Критерием наличия неисправности в системе может быть выход траектории объекта на некоторую заранее выбранную поверхность. Неисправность может произойти в любой заранее неизвестный момент времени движения объекта, в любой точке внутри данной поверхности контроля.

Исходной информацией при решении задачи контроля является математическая модель движения рассматриваемого объекта, ограниченная область ее начальных условий и априорный список математических моделей движения объекта с той или иной возможной неисправностью. По этой информации может быть выбрана поверхность контроля. Задача же диагностирования может быть решена путем последующего слежения за траекторией объекта после ее выхода на поверхность контроля. При этом необходимо, чтобы процесс диагностики совершался во время движения объекта, был осуществлен в течение весьма краткого интервала времени. Эти обстоятельства иногда не позволяют использовать довольно громоздкие алгоритмы теории идентификации и приводят к необходимости построения алгоритмов непрерывной экспресс-диагностики (см. также [3, 4]).

При структурной организации моделей приборов навигации, например, моделей гиросtabilизированной платформы, нужно исходить из того, что информация, необходимая для формирования входного информационного сигнала, весьма разнообразна. Дело в том, что необходимо знать вектор силы, действующий на единичную массу, помещенную в центр масс летательного аппарата (ЛА); векторы линейной скорости центра масс ЛА и угловой скорости различных систем координат (трехгранников); координаты, определяющие положение центра масс ЛА; параметры, характеризующие ориентацию различных трехгранников, в частности, трехгранника, связанного с самим объектом и т. п. Задачу же контроля работы гиросtabilизированной платформы, включенной в систему управления движением ЛА, можно решить другим способом, аналогично тому, как это предложено ранее в [5, 6, 8].

2. Математическая модель. Воспользуемся представлениями о математической модели трехосного гироскопического стабилизатора, которые изложены в [4, 7, 8], и ограничимся рассмотрением прецессионных уравнений.

Рассмотрим обычную кинематическую схему трехосного гироскопического стабилизатора. Гиросtabilизированная платформа, с которой связана система координат Mz , подвешена в кардановом подвесе, обеспечивающем ей три степени свободы. На платформе установлены три дважды интегрирующих гироскопа с двумя степенями свободы. Через H_i и δ_i , $i = 1, 2, 3$, обозначим кинетические моменты гироскопов и углы разворота их кожухов. Будем считать, что

$$H_1 \equiv H_2 \equiv H_3 \equiv H = \text{const}.$$

Стабилизация углов δ_i осуществляется двигателями стабилизации, установленными на осях карданова подвеса гиросtabilизатора. Система стабилизации стремится свести углы δ_i к нулю.

Моменты, которые создаются датчиками моментов, установленными на осях прецессии гироскопов, обозначим через $M_{z_2}^1$, $M_{z_1}^2$, $M_{z_1}^3$, а абсолютную угловую скорость системы координат — через $\omega_z = (\omega_{z_1}, \omega_{z_2}, \omega_{z_3})$. Если углы δ_i малы и мала угловая скорость платформы, то с точностью до величин второго порядка малости можно получить (аналогично [4, 9, 10]) следующие соотношения:

$$\omega_{z_1} = -\frac{M_{z_2}^1}{H}, \quad \omega_{z_2} = \frac{M_{z_1}^2}{H}, \quad \omega_{z_3} = -\frac{M_{z_1}^3}{H}. \quad (1)$$

Величины в правых частях уравнений (1) представляют собой командные значения угловой скорости прецессии гиросtabilизатора. Если, к примеру, гиросtabilизатор должна сохранять неизменной свою первоначальную ориентацию в пространстве, то моменты в правых частях уравнений (1) должны быть равными нулю. В случае горизонтируемой площадки эти моменты вырабатываются на компьютере в зависимости от законов управления и параметров движения.

Необходимо также учитывать, что в реальных устройствах эти моменты реализуются с погрешностями.

Установим зависимость углов разворота рамок карданова подвеса гиросtabilизатора от углов разворота ЛА. Рассмотрим две кинематические схемы карданова подвеса: трехрамочный и четырехрамочный.

1. *Трехосную* гироскопическую платформу расположим на ЛА таким образом, чтобы ось внешнего карданова кольца была направлена вдоль M_{s_2} — продольной оси ЛА; ось внутреннего кольца — вдоль оси M_{s_1} , направленной по правому крылу; ось гиросtabilизированного основания — вдоль оси M_{s_3} . Угол поворота гиросtabilизированного основания относительно внутреннего кольца обозначим через φ_1 , внутреннего кольца относительно внешнего — через φ_2 , внешнего кольца относительно корпуса ЛА — через φ_3 . Очевидно, что трехгранники Mz и Ms совпадают, если $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 0$.

Переход от системы координат Mz к системе координат Ms задается последовательностью поворотов

$$Mz \xrightarrow[3]{\varphi_1} \xrightarrow[1]{\varphi_2} \xrightarrow[2]{\varphi_3} Ms.$$

При идеальной работе системы трехгранник Mz совпадает с My^0 , начало которого совпадает с точкой M , а оси ориентированы относительно трехгранника $O\zeta$, задающего инерциальное пространство, так же, как и у системы координат Oy^0 , связанной с изоцентрической вертикалью и ориентированной в азимуте в ортодромической координатной сетке.

Переход от системы координат My^0 к системе координат Ms осуществляется последовательностью поворотов

$$My^0 \xrightarrow{3} \frac{\psi_s}{3} \xrightarrow{1} \frac{\theta}{1} \xrightarrow{2} \frac{\gamma_s}{2} \rightarrow Ms.$$

Здесь ψ_s — угол курса, θ — угол тангажа, γ_s — угол крена.

Таким образом, между углами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и ψ_s, θ, γ_s устанавливается следующее соответствие:

$$\varphi_1 = \psi_s, \quad \varphi_2 = \theta, \quad \varphi_3 = \gamma_s. \quad (2)$$

2. В *четырёхугольной* гиросtabilизированной платформе, установленной на ЛА, образуется следующее соответствие:

$$\varphi_1 = \psi^*, \quad \varphi_3 = \theta^*, \quad \varphi_4 = \gamma^*. \quad (3)$$

Углы $\psi^*, \theta^*, \gamma^*$ являются аналогами углов курса, тангажа, крена соответственно.

Перейдем теперь к контролю и диагностированию работы гиросtabilизированной платформы. Вектор контроля выберем в виде

$$y(t) = (\psi'_s, \theta', \gamma'_s). \quad (4)$$

Здесь $\psi'_s, \theta', \gamma'_s$ — углы курса, тангажа, крена (2), вычисленные алгоритмически.

Предположим, что наблюдение за компонентами выбранного вектора контроля (4) дает возможность судить о том, что гиросtabilизированная платформа, включенная в систему управления движением ЛА (см. также [4, 11, 13, 14]), исправна, или что процесс движения системы осуществляется по траектории, обусловленной той или иной неисправностью гиросtabilизированной платформы.

3. Задача контроля. Задача контроля гиросtabilизированной платформы может быть сформулирована следующим образом.

В фазовом пространстве $\{\psi'_s, \theta', \gamma'_s\} \subset \mathbf{R}^3$ вектора контроля (4) требуется построить такую сферу \mathbf{S}_R с центром в точке $(\psi_n, \theta_n, \gamma_n)$, где $\psi_n, \theta_n, \gamma_n$ — программные движения, чтобы фазовые траектории компонент вектора контроля (4) при интегрировании исправной системы в течение времени T с начальными условиями из выбранного ограниченного множества лежали внутри \mathbf{S}_R , а траектории системы с той или иной неисправностью гиросtabilизированной платформы из априорного опорного списка неисправностей пересекали поверхность сферы \mathbf{S}_R .

Решение сформулированной задачи можно осуществить методом статистических испытаний (см. также [15, 16]). Проводя розыгрыш начальных условий x^0 из некоторого ограниченного множества и интегрируя с этими начальными условиями на интервале времени $[t_0, t_0 + T]$ исправную систему, можно построить ансамбли фазовых портретов координат вектора контроля (4).

За сферу контроля \mathbf{S}_R можно выбрать сферу, охватывающую объем ансамблей. Если через L обозначить длину отрезка от точки $(\psi_n, \theta_n, \gamma_n)$ до максимально удаленной точки этого объема, то радиус R сферы \mathbf{S}_R можно выбрать таким, чтобы $R > L$.

Остается проверить, что поверхность выбранной таким образом сферы \mathbf{S}_R пересекает фазовые траектории координат вектора контроля систем с опорными неисправностями гиросtabilизированной платформы. Для построения сферы контроля \mathbf{S}_R , в случае, когда система находится под воздействием малого шума, можно воспользоваться методом, изложенным в [16].

Таким образом, выход изображающей точки вектора контроля (4) на поверхность сферы \mathbf{S}_R будет означать, что в системе произошла некоторая неисправность гиросtabilизированной платформы. Воспользовавшись далее алгоритмом диагностирования и выбрав при этом вектор $z(t) = y(t)$, можно диагностировать происшедшую в гиросtabilизированной платформе конкретную неисправность.

Однако уже на уровне решения задачи контроля сферу контроля \mathbf{S}_R можно использовать для диагностирования датчика, вырабатывающего управление с гиросtabilизированной платформой, в котором произошла неисправность и, значит, упростить задачу диагностики рассматриваемой

гиростабилизированной платформы, переключив диагностику на неисправный датчик для обнаружения происшедшей конкретной неисправности.

Обнаружение неисправного датчика (канала управления) можно осуществить, если указать области на сфере \mathbf{S}_R , в которые не могут попадать траектории компонент вектора контроля неисправной системы. Если такие области ненулевой меры существуют, а траектория соответствующей компоненты вектора контроля попадает в свою область, то соответствующая гипотеза отбрасывается сразу.

4. Задача диагностирования и геометрическая структура диагностического пространства. Для примера рассмотрим следующую геометрическую структуру диагностического пространства. Пусть даны три априорные опорные неисправности, характеризующие, например, отказы датчиков (каналов управления), которые вырабатывают управляющие сигналы $\psi'_s, \theta', \gamma'_s$ с гиростабилизированной платформы. Рассмотрим, кроме того, сферу \mathbf{S}_R и естественную квадратичную форму

$$(y, y') = 0. \quad (5)$$

Уравнением (5) для каждой из трех неисправных систем при розыгрыше начальных условий из сферы контроля и интегрировании этих систем определяется некоторый объем траектории каждой из компонент вектора контроля. Границу каждого из этих объемов внутри аппроксимируем конической поверхностью, пересечение которой со сферой \mathbf{S}_R обозначим через $\mathbf{S}_R^j, j = 1, 2, 3$.

Предположим, что для каждого j области $\mathbf{S}_R^j, j = 1, 2, 3$, не пересекаются. Фазовые траектории компонент вектора контроля $y(t)$, полученные интегрированием j -й системы с начальными условиями из сферы контроля, будут выходить из сферы \mathbf{S}_R через область \mathbf{S}_R^j . Те из областей \mathbf{S}_R^j , в которые попадают фазовые траектории компонент вектора контроля, сразу определяют номер неисправности. В противном случае, если фазовая траектория компонент вектора контроля попадает в области, в которые она не может попадать, соответствующая гипотеза отбрасывается сразу.

5. Заключение. Таким образом, уже при решении задачи контроля можно диагностировать канал управления гиростабилизированной платформы, в котором произошла неисправность. Очевидно, что описанный в настоящей работе подход можно использовать для диагностики неисправностей из диагностического пространства гиростабилизированной (изолированной) платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенок И. Т., Шамолин М. В. Решение задачи дифференциальной диагностики// *Фундам. прикл. мат.* — 1999. — 5, № 3. — С. 775–790.
2. Борисенок И. Т., Шамолин М. В. Решение задачи дифференциальной диагностики методом статистических испытаний// *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Мат. Мех.* — 2001. — № 1. — С. 29–31.
3. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем// *Автомат. телемех.* — 1980. — № 3. — С. 96–121..
4. Окунев Ю. М., Парусников Н. Структурные и алгоритмические аспекты моделирования для задач управления. — М.: Изд-во МГУ, 1983.
5. Пархоменко П. П., Сагомонян Е. С. Основы технической диагностики. — М.: Энергия, 1981.
6. Селиванова Н. Ю., Шамолин М. В. Диагностика некоторой системы прямого управления из теории летательных аппаратов// в кн.: *Междунар. конф. «Области применения и новые технологии преподавания математики и ИКТ»*, Гянджа, Азербайджан, 5-6 июня 2014 г.. — Гянджа, 2014. — I. — С. 18–22.
7. Чикин М. Г. Системы с фазовыми ограничениями// *Автомат. телемех.* — 1987. — № 10. — С. 38–46.
8. Шамолин М. В. Диагностика гиростабилизированной платформы, включенной в систему управления движением летательного аппарата// *Электрон. модел.* — 2011. — 33, № 3. — С. 121–126.
9. Шамолин М. В. Диагностика движения летательного аппарата в режиме планирующего спуска// *Электрон. модел.* — 2010. — 32, № 5. — С. 31–44.
10. Шамолин М. В. Диагностика неисправностей в одной системе непрямого управления// *Электрон. модел.* — 2009. — 31, № 4. — С. 55–66.

11. *Шамолин М. В.* Диагностика одной системы прямого управления движением летательных аппаратов// Электрон. модел. — 2010. — 32, № 1. — С. 45–52.
12. *Шамолин М. В.* Некоторые задачи дифференциальной и топологической диагностики. — М.: Экзамен, 2007.
13. *Шамолин М. В.* Расширенная задача дифференциальной диагностики и ее возможное решение// Электрон. модел. — 2009. — 31, № 1. — С. 97–115.
14. *Шамолин М. В.* Решение задачи диагностирования в случае точных траекторных измерений с ошибкой// Электрон. модел. — 2009. — 31, № 3. — С. 73–90.
15. *Эйкхофф М.* Основы идентификации систем управления. — М.: Мир, 1975.
16. *Shamolin M. V.* Foundations of differential and topological diagnostics// J. Math. Sci. — 2003. — 114, № 1. — P. 976–1024.

Шамолин Максим Владимирович
Институт механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
E-mail: shamolin@rambler.ru, shamolin@imec.msu.ru

Кругова Елена Павловна
Всероссийский институт научной и технической информации
Российской академии наук, Москва, Россия
E-mail: ekrugo@mail.ru