

О.Я. НИКОНОВ, канд. техн. наук, **Н.В. НАЗАРОВА** (г. Харьков)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ДАТЧИКОВ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Розглядається задача ідентифікації та контролю датчиків кутової швидкості у системі керування рухом транспортного засобу складається з алгоритмів: початкова постанова датчиків; вибір конфігурації каналів датчиків; розрахунок приросту кутів датчиків; контроль та формування признаку інформативності датчиків.

The problem of identification and measurement of angular velocity sensors in the vehicle traffic control system consists from algorithms: initial alignment of sensors; configuration select of sensor channels; angle rate increase valuation of sensors; measurement and information density indicator formation of sensors.

Постановка проблемы

Постоянно возрастающие требования к работоспособности систем управления движением транспортных средств заставляют искать новые методы, способы идентификации и контроля датчиков угловой скорости. Существующие методы контроля работоспособности датчиков угловой скорости являются достаточно грубыми, чтобы выявлять отказы датчиков угловой скорости. Поэтому разработка алгоритмов идентификации отказов датчиков угловой скорости является важной задачей для систем управления движением транспортных средств [1-2].

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ последних исследований и публикаций прогнозирования дальнейшего развития систем управления движением транспортных средств позволяет определить основные пути такого развития [1-2]: идентификация и выявление отказов датчиков угловой скорости; контроль и формирование признака информативности датчиков угловой скорости; восстановление информации о положении движущегося транспортного средства.

Формулирование цели

Целью работы является построение алгоритмов идентификации и контроля отказов датчиков угловой скорости в системе управления движением транспортным средством, находящегося под воздействием внешней среды, с применением подхода на основе современной теории автоматического управления, методов синтеза систем управления движением транспортных средств.

Идентификация и контроль отказов датчиков угловой скорости

Рассмотрим систему с числом N одноосных датчиков угловой скорости (ДУС). Оценим ортогональные составляющие вектора парциального поворота $\mathbf{Q}_{kn}^* = \{Q_{kn1}^*, Q_{kn2}^*, \dots, Q_{knN}^*\}$, полагая, что измерения равноточны, а ошибки измерения аддитивны, с нулевым математическим ожиданием и дисперсией S^2 .

Запишем ковариационную матрицу ошибок оценки ортогональных составляющих измеряемого вектора в виде

$$D[d\mathbf{Q}_{kn}^*] = S^2 \cdot (H^T \cdot H)^{-1},$$

где H – матрица измерений размерности $N \times 3$, строки которой состоят из направляющих косинусов $h_{nj} = (\mathbf{n}_i, \mathbf{e}_i)$ измерительных осей в связанной ортогональной системе координат и удовлетворяют условиям

$$h_{n1}^2 + h_{n2}^2 + h_{n3}^2 = 1, \quad n = 1, 2, \dots, N.$$

Любые три строки матрицы H линейно независимы. При локализации отказа элементы соответствующей строки матрицы H обнуляются. Предложенный метод оптимизации конфигураций основан на минимизации следа ковариационной матрицы:

$$\min R = \min_H T_r(D[d\mathbf{Q}_{kn}^*]).$$

Поскольку след ковариационной матрицы равен сумме квадратов главных осей эллипсоида рассеяния, то он не зависит от выбора связанной системы координат и определяется только взаимной ориентацией осей чувствительности датчиков.

Нахождение необходимых и достаточных условий минимума критерия R сводится к нахождению минимума функции

$$\min_{I_1, I_2, I_3} 1/I_1 I_2 I_3$$

при условии $I_1 + I_2 + I_3 = N$, где I_1, I_2, I_3 – собственные числа матрицы $(H^T \cdot H)$.

Необходимые и достаточные условия минимума критерия R имеют вид

$$I_1 = I_2 = I_3 = N/3.$$

При этом векторы-столбцы матрицы H ортогональны и их нормы равны между собой и равны $\sqrt{N/3}$.

В общем случае N найдены две оптимальные конфигурации: 1) для любого N : измерительные оси располагаются равномерно вдоль образующих кругового конуса с углом при вершине осевого сечения $2 \arccos(1/\sqrt{3})$; 2) для четного N : $N-1$ ось располагается равномерно вдоль образующих кругового конуса с углом при вершине осевого сечения $2 \arccos \sqrt{(N-3)/(3(N-1))}$, и одна ось – вдоль оси конуса.

Рассмотрим оптимальные конфигурации осей чувствительности ДУС для $N = 4, 5, 6, 7, 8$.

$N = 4$. Здесь применимы два решения: «конус» и «конус с осью». Для обеих конфигураций оси чувствительности измерителей ортогональны непараллельным граням правильных многогранников: для первой – октаэдра, для второй – тетраэдра. Для первой схемы угол при вершине осевого сечения $\alpha = 109^\circ 28'$, для второй схемы $\alpha = 167^\circ 14'$. Конфигурация «конус с осью» ($N=4$) отвечает взаимно ортогональному расположению измерительных осей $\vec{n}_1, \vec{n}_2, \vec{n}_3$.

$N = 5, 7$. В обоих случаях существует лишь одна оптимальная конфигурация: измерительные оси располагаются равномерно вдоль образующих конуса с углом при вершине осевого сечения, равным $2 \arccos(1/\sqrt{3})$.

$N = 6$. Для шести измерительных осей существует множество оптимальных конфигураций. Среди них чаще используются конфигурации «конус» и «конус с осью». Для второй конфигурации направления осей чувствительности ДУС совпадают с направлениями нормалей к непараллельным граням додекаэдра. Для конфигурации «конус» угол при вершине осевого сечения равен $109^\circ 28'$, для конфигурации типа «конус с осью» – $2 \arccos(1/\sqrt{5})$, то есть $\alpha = 156^\circ 56'$.

Кроме этих конфигураций имеют место следующие две оптимальные конфигурации. В каждой из них оси датчиков расположены равномерно вдоль двух вложенных конусов с общей осью: угол при вершине осевого сечения первого конуса равен 90° , второго – $2 \arccos(1/\sqrt{6})$. Для первой конфигурации проекции осей соответствующих датчиков на плоскость, перпендикулярную оси конусов, совпадают, для второй – проекции всех шести осей чувствительности располагаются на перпендикулярной плоскости равномерно.

$N = 8$. Оптимальные конфигурации: типа «конус», «конус с осью» и «конус в конусе». В первом случае оси датчиков располагаются равномерно вдоль образующих конуса с углом при вершине осевого сечения $109^\circ 28'$; во втором случае угол при вершине осевого сечения конуса равен $121^\circ 35'$. В случае конфигурации «конус в конусе» измерительные оси расположены рав-

номерно вдоль образующих двух конусов с одной осью – по четыре на каждом, причем проекции всех восьми осей располагаются на ортогональной плоскости равномерно.

Углы a и b при вершинах осевых сечений конусов связаны соотношением

$$\cos^2 a/2 + \cos^2 b/2 = 2/3.$$

В режиме включения ДУС после наступления тепловой готовности включаются все шесть ДУС. После достижения функциональной готовности производится контроль работоспособности ДУС и в случае нормы два ДУС отключаются. Эти ДУС находятся в «горячем» резерве и в случае необходимости могут быть готовы к работе спустя 1 минуту.

Задача обработки и контроля информации ДУС состоит из следующих алгоритмов: 1) алгоритм начальной установки задачи ДУС; 2) алгоритм выбора конфигурации включаемых каналов ДУС; 3) алгоритм расчета приращений углов ДУС; 4) алгоритм контроля и формирования признака информативности ДУС.

Алгоритм начальной установки задачи ДУС рассчитывает матрицу C (6x3) установки шести ДУС в приборных осях:

$$C_{i1}=\cos(j+dj_i); C_{i2}=\sin(j+dj_i)\cdot\cos((i-1)\cdot q+dq_i); C_{i3}=\sin(j+dj_i)\cdot\sin((i-1)\cdot q+dq_i),$$

где j , q – углы установки ДУС в ПСК; dj_i , dq_i – погрешности углов установки ДУС ($i=1\div 6$).

Алгоритм также производит обнуление внутренних переменных задачи. По техническому заданию (ТЗ) выбирается число включаемых в режиме ДУС: работа на 5, 4 или 3 ДУС. По ТЗ задается признак контроля: наличие или отсутствие контроля.

Алгоритм выбора конфигурации включаемых каналов ДУС работает на тех тактах режима, где происходит смена работающего комплекта ДУС, функционально при возникновении отказа или по ТЗ. Алгоритм состоит из трех частей, соответствующих трем состояниям признака работы $Z=0$ V 1 V 2.

При $Z=2$ алгоритм формирует пятерку работающих ДУС из числа исправных. Из этой пятерки выбирается ортогональная управляющая тройка ДУС для формирования матрицы управления B (3x3). Если номера работающих ДУС выбираются по ТЗ, то управляющей тройкой считаются первые три из заданных.

При $Z=1$ из числа исправных ДУС выбираются номера четырех ДУС: 3 из них считаются управляющими, а четвертый используется для контроля. Выбор четверки по ТЗ осуществляется аналогично случаю $Z=2$.

При $Z=0$ выбор работающих измерительных каналов осуществляется

аналогично случаю работы на четырех ДУС, отличие состоит в том, что контрольный ДУС не формируется.

Алгоритм ДУС формирует запросы на включение ДУС после определения их номеров.

В результате формируется управляющая матрица B (3×3), используемая в расчетах проекций приращений углов на приборные оси. Для этого формируется вспомогательная матрица D (3×3), составленная из строк матрицы C (6×3), соответствующих номерам управляющих ДУС. Управляющая матрица рассчитывается следующим образом:

$$B = D^{-1}.$$

Алгоритм расчета приращений углов ДУС формирует суммарные признаки функциональной и точностной готовности ДУС по признакам, приходящим из подсистемы. Осуществляет выбор диапазона измерений ДУС по признаку, формируемому алгоритмами режимов.

Алгоритм формирует информацию о приращениях углов, измеренных каждым ДУС \bar{q}_i :

$$\bar{q}_i = m_i \cdot N_i - w_{ti} \cdot T_0, \quad (i=1 \div 6),$$

где m_i – цена импульса i -го ДУС; N_i – число импульсов с i -го ДУС за такт; w_{ti} – паспортизуемый уход i -го ДУС.

Рассчитываются приращения углов поворота объекта в проекциях на приборные оси ДУС q_{gj} :

$$q_{gj} = B_{j1} \cdot \bar{q}_{nupr1} + B_{j2} \cdot \bar{q}_{nupr2} + B_{j3} \cdot \bar{q}_{nupr3},$$

где B_{jk} – элементы матрицы управления; $nupr_k$ – номера управляющих ДУС ($j=1 \div 3$; $k=1 \div 3$).

Затем вычисляются проекции приращений углов на оси визирной системы координат (ВСК) θ_j :

$$\begin{aligned} q_1 &= q_{g2} - AD_3 \cdot q_{g3} + AD_2 \cdot q_{g1} - q_{yx1}, \\ q_2 &= -q_{g3} - AD_3 \cdot q_{g2} - AD_1 \cdot q_{g1} - q_{yx2}, \\ q_3 &= -q_{g1} + AD_2 \cdot q_{g2} + AD_1 \cdot q_{g3} - q_{yx3}, \end{aligned}$$

где AD_j – погрешности установки ПСК ДУС относительно ВСК; q_{yxj} – вычисленный на борту угловой уход ($j=1 \div 3$).

Алгоритм контроля и формирования признака информативности ДУС рассчитывает приращение угла по контрольной оси и сравнивается с приращением, полученным с контрольного ДУС:

$$q_k = C_{ncon,1}q_{g1} + C_{ncon,2}q_{g2} + C_{ncon,3}q_{g3}, |q_k - \bar{q}_{ncon}| < dq_p,$$

где $ncon$ – номер контрольного ДУС; dq_p – порог контроля информации.

Если разность не превышает порог dq_p , заданный в ТЗ, то все включенные ДУС считаются исправными. В противном случае для идентификации отказавшего ДУС алгоритм формирует заявку на подключение пятого ДУС.

На время отсутствия информативности ДУС рассчитывается прогнозируемое приращение угла поворота объекта за такт, которое поступает в алгоритм оценки скорости:

$$q_j(n) = q_j(n-1) + U_{aj}(n) \cdot T_0^2 / 2,$$

где $U_{aj}(n)$ – оценочная эффективность исполнительных органов; n – номер такта.

Результаты моделирования

Для системы управления движением транспортным средством разработаны алгоритмы идентификации и контроля отказов ДУС.

Анализ системы управления движением транспортным средством, а также численные исследования, позволяют сделать вывод о том, что введение данных алгоритмов позволяет обеспечить работоспособность системы управления движением транспортным средством.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В статье рассмотрена задача построения алгоритмов идентификации и контроля отказов ДУС в системе управления движением транспортным средством, находящегося под воздействием внешней среды, с применением подхода на основе современной теории автоматического управления, методов синтеза систем управления движением транспортных средств. Разработаны алгоритмы идентификации и контроля отказов ДУС. Для дальнейших исследований необходимо использовать алгоритмы поиска отказов ДУС на основе математического моделирования.

Список литературы: 1. Александров С.С., Александрова Т.С., Ніконов О.Я. та ін. Автоматизоване проектування танкових автоматичних систем. – Харків, 2003. – 137с. 2. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Наука, 1974. – 598 с.

Поступила в редколлегию 12.06.08