
УДК 681.11-52

Назарова Н.В., Никонов О.Я.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДВОЙНЫХ ДЕФЕКТОВ ДАТЧИКОВ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Постановка задачи. В настоящее время все виды контроля точности телематических систем транспортных средств состоят из различных подсистем и поэтому структура технических средств и программного обеспечения этих систем сложны. В связи с этим необходимо повышать надежность транспортного средства в целом. Надежность транспортного средства может быть получена с помощью дефектоскопии и изоляции, а также идентификации дефектов датчиков.

Алгоритмы дефектоскопии и изоляции проектируются, чтобы использовать всю избыточную информацию системы датчиков. Избыточность системы датчиков широко классифицируется как аппаратная избыточность и аналитическая избыточность.

При аппаратной избыточности используется минимальное число датчиков. Например, два или более датчиков используются для простых систем, и четыре или более – для сложных. Системы используют в основном акселерометры и гироскопы, чтобы вычислить информацию о системе, как например положение, скорость и ускорение. Чтобы обеспечить надежность и увеличить точность, в системе необходимо использовать избыточное количество датчиков.

При аналитической избыточности дополнительная информация получается от математической модели системы. Этот вид избыточности основан на идее, что существует динамическая взаимосвязь между входами и выходами модели системы. Аналити-

ческая избыточность была изучена во многих приложениях, таких как, например, аэрокосмические системы, транспортные средства, общественный транспорт и атомные электростанции.

Основной путь обнаружения дефекта – исправить порог дефекта, и если оценка дефекта больше, чем порог, определено, что дефект произошел. Единственный типичный путь для получения порога дефекта – использование вероятности ложного дефекта. Шум измерения обычно предполагается как белый гауссовский. Если нет никакого дефекта, то функция спектральной плотности оценки дефекта имеет гауссовское распределение.

Новый порог идентификации основан на ковариации ошибки оценки переменной, которая является родственной с точностью системы. Использование большего числа датчиков лучше для точности системы ковариация ошибки оценки положения системы становится меньше.

Поэтому, когда используют избыточные датчики для системы, то, возможно, случается, что хотя есть дефект, ошибочный датчик должен быть исключен, чтобы не потерять точность системы. Порог идентификации дефекта дает алгоритм точности системы, чтобы определить, нужно ли ошибочный датчик исключить или нет. Если дефект есть менее чем порог идентификации, говорят, что это является терпимым дефектом и соответствующий датчик не должен быть исключен. Если дефект больший, чем порог идентификации, говорят, что это является не терпимым дефектом и соответствующий датчик должен быть исключен.

В статье предлагается новый алгоритм идентификации для двойных дефектов в системе избыточных датчиках. В данном случае алгоритм идентификации дефекта представляется в виде области двумерного пространства.

Рассмотрим типичное уравнение измерения для системы избыточных датчиков

$$m(t) = Hx(t) + f(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где $m(t) = [m_1 \ m_2 \ \dots \ m_n]^T \in R^n$ - измерение датчика, $H = [h_1 \ \dots \ h_n]^T$ - матрица измерения размерностью $n \times 3$ ($(H^T) = 3$), $x(t) \in R^3$ - решение (ускорение или угловая скорость), $f(t) = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_n]^T \in R^n$ - вектор дефекта, $\varepsilon(t) \sim N(0_n, \sigma I_n)$ - вектор шума измерения, нормальное распределение (белый шум), $N(x, y)$ - гауссовская функция спектральной плотности от значения x и среднеквадратичное отклонение y .

Вектор паритета $p(t)$ получен с помощью матрицы V , как указано ниже:

$$p(t) = Vm(t) = Vf(t) + V\varepsilon(t), \quad (2)$$

где матрица V удовлетворяет

$$VH = 0 (V \in R^{(n-3) \times n}) \text{ и } VV^T = I, \quad V = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n]. \quad (3)$$

Определим терминологию дефектоскопии, изоляции и идентификации дефектов в системе датчиков: *дефектоскопия* – указание, что какой-то датчик не исправен в системе; *изоляция дефекта* – определение точного расположения дефекта датчика; *иден-*

тификация ошибки – определение размера и природы дефекта датчика; идентификация дефекта – реконфигурация исправных датчиков системы.

На рис. 1 показана блок-схема процедуры дефектоскопии, изоляции и идентификации в системах [1]. После измерения датчика производится паритетное выравнивание, и выполняются процедуры дефектоскопии, изоляции и идентификации. Решение получается на основе применения метода наименьших квадратов и вводится в паритетное уравнение. Точность зависит от ошибки оценки решений, т.е. ускорения или угловой скорости.

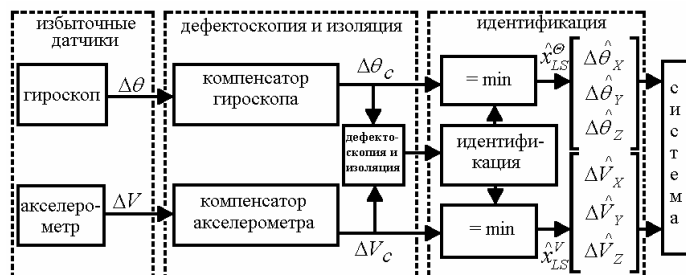


Рисунок 1 - Дефектоскопия, изоляция и идентификация для системы с избыточными датчиками

В статье рассматривается только идентификация дефекта при следующих трех предположениях: 1) любые три датчика не лежат в одной плоскости; 2) все датчики имеют те же шумовые характеристики, т.е. такое же среднее квадратичное отклонение белого гауссовского шума; 3) дефектоскопия, изоляция и идентификация выполняются заранее.

По аналогии с (1) рассмотрим уравнение измерения:

$$m = Hx + f + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0_n, \sigma I_n). \quad (4)$$

На рис. 1 решение $\hat{x} = [\hat{x}_x \ \hat{x}_y \ \hat{x}_z]^T$, которое является ускорением или угловой скоростью, можно получить с помощью метода наименьших квадратов, как указано ниже:

$$\hat{x}(t) = (H^T H)^{-1} H^T m(t). \quad (5)$$

Определим ошибку оценки $x(t)$ как $e(t) = \hat{x}(t) - x(t)$. Решение, как например позиция, скорость и положение, и вычислено из $\hat{x}(t)$. Поэтому точность системы зависит от ковариации ошибки $C(t) = E[e(t)e^T(t)]$.

Рассмотрим две матрицы $C_{+i}(t)$ и $C_{-i}(t)$:

$$C_{+i}(t) = f^2(t)(H^T H)h_i h_i^T (H^T H)^{-1} + \sigma^2(H^T H)^{-1}, \quad (6)$$

$$C_{-i}(t) = E[(\hat{x}_{-i}(t) - x(t))(\hat{x}_{-i}(t) - x(t))^T] = \sigma^2(H^T W_i H)^{-1}, \quad (7)$$

где матрицы C_{+i} и C_{-i} означают ковариацию $\hat{x}(t)$, в том числе и исключая i -й датчик соответственно и W_i – $n \times n$ диагональная матрица с (i,i) компонентой, равной нулю, и другими компонентами, равными единице.

Лемма 1: Предположим, что i -й датчик имеет дефект. Тогда для матриц (6) и (7) эквивалентны следующие два неравенства:

а) $|f(t)| \leq \sigma / \|v_i\|_2$;

б) $C_{+i}(t) - C_{-i}(t) \leq 0$,

где σ – среднее квадратичное отклонение сенсорного шума и i -й столбец матрицы V , которая удовлетворяет (3).

Отсюда следует, что $|f(t)| \leq \sigma / \|v_i\|_2 \Leftrightarrow C_{+i}(t) = C_{-i}(t)$.

Лемма 1 подразумевает, что, когда величина i -го дефекта составляет меньше $\sigma / \|v_i\|_2$, ковариация ошибки оценочного $\hat{x}(t)$, включающий i -й датчик, есть менее чем ковариация ошибки оценки $\hat{x}(t)$, исключая это, поэтому i -й ошибочный датчик должен быть исключен несмотря на его дефект, чтобы улучшить точность системы. Согласно лемме 1 имеем порог исключения $\sigma / \|v_i\|_2$ как алгоритм идентификации.

Для (1) предполагается, что происходят двойные дефекты f_i и f_j , что подразумевает $f(t) = [0 \cdots f_i \ 0 \cdots f_j \ 0 \cdots]^T$.

Чтобы проанализировать выполнение системы, нужно вычислить ковариацию ошибку решения $\hat{x}(t)$ [2]. Ковариации матриц определяются далее. Матрица C_{+i+j} означает ковариацию ошибки $\hat{x}(t)$, включая выходы i -го и j -го датчиков, и C_{-i-j} - ковариация ошибки $\hat{x}(t)$, исключая i -й и j -й датчики, и так далее для C_{-i+j} и C_{+i-j} .

Матрица ковариации C_{+i+j} . Ошибка для $\hat{x}(t)$ может быть вычислен следующим образом

$$\hat{x}_{+i+j} - x = (H^T H)^{-1} \{f_i h_i + f_j h_j + H^T \varepsilon\}, \quad (8)$$

где $\hat{x}_{+i+j} = [\hat{x}_{++x} \ \hat{x}_{++y} \ \hat{x}_{++z}]^T$.

Затем ошибка оценки $\hat{x}(t)$ может быть описана как матрица ковариации ошибки C_{+i+j}

$$C_{+i+j} = E[(\hat{x}_{+i+j} - x)(\hat{x}_{+i+j} - x)^T] = \sigma^2 (H^T H)^{-1} + (H^T H)^{-1} \begin{bmatrix} h_i & h_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_i^2 & f_i f_j \\ f_i f_j & f_j^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_i^T \\ h_j^T \end{bmatrix} (H^T H)^{-1}. \quad (9)$$

Матрица ковариации C_{-i-j} . Ошибка для $\hat{x}(t)$ может быть вычислена как указано ниже

$$\hat{x}_{-i-j} - x = (H^T W_{ij} H)^{-1} H^T W_{ij} \varepsilon, \quad (10)$$

где $\hat{x}_{-i-j} = [\hat{x}_{--x} \ \hat{x}_{--y} \ \hat{x}_{--z}]^T$ и W_{ij} – диагональная матрица с единичными диагональными элементами, кроме (i,i) компоненты и (j,j) компоненты, которые равны нулю.

Затем оценка ошибки $\hat{x}(t)$ может быть описана как матрица ковариации ошибки C_{-i-j}

$$C_{-i-j} = E[(\hat{x}_{-i-j} - x)(\hat{x}_{-i-j} - x)^T] = \sigma^2 (H^T H)^{-1} + \frac{\sigma^2}{D_{ij}} (H^T H)^{-1} \begin{bmatrix} h_i & h_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \|v_j\|_2^2 & -v_j^T v_i \\ -v_i^T v_j & \|v_i\|_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_i^T \\ h_j^T \end{bmatrix} (H^T H)^{-1}, \quad (11)$$

где $D_{ij} = \|v_i\|_2^2 \|v_j\|_2^2 - \langle v_i, v_j \rangle = \|v_i\|_2^2 \|v_j\|_2^2 \sin^2 \theta_{ij}$ и θ_{ij} – угол между двумя векторы v_i и v_j , которые являются векторами-столбцами матрицы V , определяемой (3).

Матрица ковариации C_{-i+j} . Ошибка для $\hat{x}(t)$ может быть вычислена как указано ниже

$$\hat{x}_{-i+j} - x = (H^T W_i H)^{-1} H^T W_i (V_{Fj} f_j + \varepsilon), \quad (12)$$

где $\hat{x}_{-i+j} = [\hat{x}_{-+x} \ \hat{x}_{-+y} \ \hat{x}_{-+z}]^T$ и $V_{Fj} = [0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0]^T \in R^{n \times 1}$ с j -й единичной компонентой, которая приводится к виду $H^T W_i V_{Fj} = h_j$.

Затем ошибка оценки $\hat{x}(t)$ может быть описана как матрица ковариации ошибки C_{-i+j}

$$C_{-i+j} = f_j^2 (H^T W_i H)^{-1} h_j h_j^T (H^T W_i H)^{-1} + \sigma^2 (H^T W_i H)^{-1} = f_j^2 (H^T W_i H)^{-1} h_j h_j^T (H^T W_i H)^{-1} + \sigma^2 (H^T H)^{-1} + \frac{\sigma^2}{\|v_i\|_2^2} (H^T H)^{-1} h_i h_i^T (H^T H)^{-1}. \quad (13)$$

Алгоритм идентификации для двойных дефектов основан на следующих трех теоремах [3].

Теорема 2: Рассмотрим уравнение измерения (1) и решение (5), и предположим, что i -й и j -й датчики имеют дефекты. Для обеих ковариаций ошибки оценки матриц (9) и (11) эквивалентны следующие два неравенства:

$$a) \ tr(C_{+i+j}) < tr(C_{-i-j}),$$

где $tr(\bullet)$ означает след матрицы;

б)

$$f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle < \zeta_1, \quad (14)$$

где $\langle \cdot, \cdot \rangle$ означает скалярное произведение и

$$\zeta_1 = \frac{\sigma^2}{D_{ij}} \left[\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 \|v_j\|_2^2 + \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 \|v_i\|_2^2 - \gamma \right],$$

$$\gamma = 2 \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle \langle v_i, v_j \rangle.$$

Доказательство: Для начала имеем

$$tr(C_{+i+j}) = E[(\hat{x}_{++x} - x_x)^2] + E[(\hat{x}_{++y} - x_y)^2] + E[(\hat{x}_{++z} - x_z)^2],$$

$$tr(C_{-i-j}) = E[(\hat{x}_{-x} - x_x)^2] + E[(\hat{x}_{-y} - x_y)^2] + E[(\hat{x}_{-z} - x_z)^2].$$

Определим матрицы A и B следующим образом

$$A = \begin{bmatrix} h_i^T \\ h_j^T \end{bmatrix} (H^T H)^{-1} (H^T H)^{-1} \begin{bmatrix} h_i & h_j \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 & \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle \\ \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle & \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} f_i^2 - \frac{\sigma^2 \|v_j\|_2^2}{D_{ij}} & f_i f_j + \frac{\sigma^2 v_j^T v_i}{D_{ij}} \\ f_i f_j + \frac{\sigma^2 v_i^T v_j}{D_{ij}} & f_j^2 - \frac{\sigma^2 \|v_i\|_2^2}{D_{ij}} \end{bmatrix}.$$

Затем $tr(C_{+i+j} - C_{-i-j}) = tr(AB) < 0$ дает следующее неравенство

$$f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle >$$

$$> \frac{\sigma^2}{D_{ij}} \left[\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 \|v_j\|_2^2 + \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 \|v_i\|_2^2 - \gamma \right].$$

Примечание 1: Теорема 2 означает, что, если дефекты f_i и f_j происходят, и величины двух дефектов удовлетворяют (14) размещено внутри эллипса, затем ошибочные датчики передачи не нужно исключать, чтобы получить меньшую ошибку оценки, используя их.

Теорема 3: Рассмотрим уравнение измерения (1) и решение (5), и предположим, что i -й и j -й датчики имеют дефекты. Для обеих ковариаций ошибки оценки матриц (11) и (13) эквивалентны следующее два неравенства:

а) $tr(C_{-i+j}) < tr(C_{-i-j})$,

б) $f_j^2 < \zeta_2$,

где $\zeta_2 = tr(A)/tr(B)$ и

$$A = \sigma^2 (H^T H)^{-1} \left\{ \frac{1}{D_{ij}} \begin{bmatrix} h_i & h_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \|v_j\|_2^2 & -v_j^T v_i \\ -v_i^T v_j & \|v_i\|_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_i^T \\ h_j^T \end{bmatrix} - \frac{1}{\|v_i\|_2^2} h_i h_i^T \right\} (H^T H)^{-1},$$

$$B = (H^T W_i H)^{-1} h_j h_j^T (H^T W_i H)^{-1}.$$

Доказательство: Доказательство имеет ту же процедуру, что и в теореме 2.

Примечание 2: Теорема 3 означает, что хотя дефекты f_i и f_j размещаются за пределами эллипса в (14) и $|f_i| < |f_j|$, если (15) удовлетворен, то j -й датчик не нужно исключать с тех пор, как меньшую ошибку оценки может получить использование j -го датчика.

Теорема 4: Рассмотрим уравнение измерения (1) и решение (5), и предположим, что i -й и j -й датчики имеют дефекты. Для обеих ковариаций ошибки оценки матриц (9) и (13) эквивалентны следующее два неравенства:

а) $tr(C_{-i+j}) < tr(C_{+i+j})$,

б)
$$f_i^2 + f_j^2 \frac{\left\{ \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 - \|(H^T W_i H)^{-1} h_j\|_2^2 \right\}}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} +$$

$$+ \frac{2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} > \frac{\sigma^2}{\|v_i\|_2^2}.$$
(16)

Доказательство: От (9) и (13), $tr(C_{-i+j})$ и $tr(C_{+i+j})$ может быть вычислен легко как указано ниже

$$tr(C_{-i+j}) = f_j^2 \|(H^T W_i H)^{-1} h_j\|_2^2 + \sigma^2 tr((H^T H)^{-1}) + \frac{\sigma^2}{\|v_i\|_2^2} \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2,$$

$$tr(C_{+i+j}) = f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 +$$

$$+ 2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle + \sigma^2 tr((H^T H)^{-1}).$$

Вычисляя $tr(C_{-i+j}) - tr(C_{+i+j}) < 0$ неравенство (16) может быть получено.

Примечание 3: Теорема 4 означает, что хотя дефекты f_i и f_j , удовлетворяющие (14), размещены внутри эллипса, и $|f_i| < |f_j|$, если (16) удовлетворен, то i -й датчик нужно исключить с тех пор, как меньшую ошибку оценки может получить его исключение.

По результатам теоремы 2 из теоремы 4 двойные дефекты могут быть представлены в виде четырех категорий.

Категория I: Двойные дефекты определяются следующими тремя неравенствами:

а) $f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle < \zeta_1$,

б)
$$f_i^2 + f_j^2 \frac{\left\{ \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 - \|(H^T W_i H)^{-1} h_j\|_2^2 \right\}}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} +$$

$$+ \frac{2f_i f_j \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} > \frac{\sigma^2}{\|v_i\|_2^2},$$

в) $|f_i| < |f_j|$.

Два ошибочных датчика не нужно исключать.

Категория II: Двойные дефекты определяются следующими тремя неравенствами:

$$\begin{aligned} \text{а) } f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j < \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle < \zeta_1, \\ f_i^2 + f_j^2 \frac{\left\{ \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 - \|(H^T W_i H)^{-1} h_j\|_2^2 \right\}}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} + \\ \text{б) } + \frac{2f_i f_j < \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle}{\|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2} > \frac{\sigma^2}{\|v_i\|_2^2}, \end{aligned}$$

в) $|f_j| < |f_i|$.

Нужно исключить i -й датчик, но не j -й датчик.

Категория III: Двойные дефекты определяются следующими тремя неравенствами:

$$\begin{aligned} \text{а) } f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j < \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle \geq \zeta_1, \\ \text{б) } f_j^2 < \zeta_2, \\ \text{в) } |f_j| < |f_i|. \end{aligned}$$

Нужно исключить i -й датчик, но не j -й датчик.

Категория IV: Двойные дефекты определяются следующими тремя неравенствами:

$$\begin{aligned} \text{а) } f_i^2 \|(H^T H)^{-1} h_i\|_2^2 + f_j^2 \|(H^T H)^{-1} h_j\|_2^2 + 2f_i f_j < \langle (H^T H)^{-1} h_i, (H^T H)^{-1} h_j \rangle \geq \zeta_1, \\ \text{б) } f_j^2 \geq \zeta_2, \\ \text{в) } |f_j| < |f_i|. \end{aligned}$$

Два неисправных датчика нужно исключить.

Примечание 4: Для выше рассмотренной категории IV мы рассматриваем только половину первого квадранта в двумерном пространстве, т.е. $0 \leq \theta \leq \pi/4$. Отметим, что категории II и III дают тот же результат.

Решение задачи. Для того, чтобы показать алгоритм идентификации для реальной конфигурации избыточных датчиков, мы используем симметрическую конфигурацию в виде додекаэдра, как показано на рис. 2, который использует 6 датчиков. В данном случае матрица измерения и паритетная матрица имеют следующие отношения:

$$H^T H = 2I_3, \|h_i\|_2 = 1, \|v_i\|_2 = 1/\sqrt{2} \quad (i = 1, 2, \dots, 6).$$

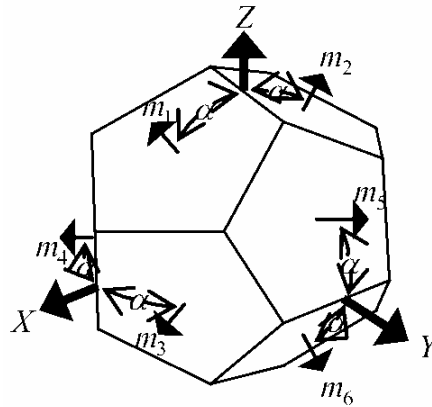


Рисунок 2 - Конфигурация додекаэдра с 6 идентичными датчиками

Углы $\hat{\theta}_{ij}$ между векторами косинусов направления h_i для 6 датчиков составляют $63,4^\circ$ и $116,6^\circ$. Они являются углами паритетных векторов. Поэтому всегда имеют место значения $\sin^2 \theta_{ij} = \sin^2 \hat{\theta}_{ij} = 0,8$ и $\cos^2 \theta_{ij} = \cos^2 \hat{\theta}_{ij} = 0,2$.

Неравенства (14)–(16) для конфигурации додекаэдра принимают вид:

$$f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 < 6\sigma^2, \quad (17)$$

$$|f_j| \geq 1,5811\sigma, \quad (18)$$

$$f_i^2 - 0,6 f_j^2 + 0,8944 f_i f_j \geq 2\sigma^2. \quad (19)$$

Получим табл. 1 для симметрической конфигурации додекаэдра.

Таблица 1.

Четыре категории двойных дефектов с конфигурацией додекаэдра (только область $0 \leq \theta \leq \pi/4$, о : использование, х : исключение).

Категория	Условия	i -й неисправный датчик	j -й неисправный датчик
I	$f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 < 6\sigma^2,$ $f_i^2 - 0,6 f_j^2 + 0,8944 f_i f_j \geq 2\sigma^2,$ $ f_j < f_i $	о	о
II	$f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 < 6\sigma^2,$ $f_i^2 - 0,6 f_j^2 + 0,8944 f_i f_j \geq 2\sigma^2,$ $ f_j < f_i $	х	о
III	$f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 \geq 6\sigma^2,$ $ f_j \geq 1,5811\sigma,$ $ f_j < f_i $	х	о
IV	$f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 \geq 6\sigma^2,$ $ f_j \geq 1,5811\sigma,$ $ f_j < f_i $	х	х

По таблице 1 рисуем план в двумерной плоскости, как показано на рис. 3.

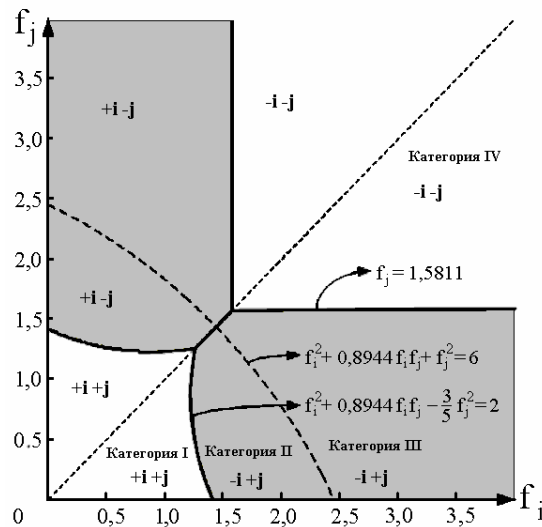


Рисунок 3 - Алгоритм решения для исключения неисправных датчиков для конфигурации додекаэдра (для области $\pi/4 \leq \theta \leq \pi/2$ i и j нужно поменять местами в табл. 1)

Примечание 5: Таблица 1 рассматривается только для области $0 \leq \theta \leq \pi/4$ в первом квадранте. Необходимо поменять местами i и j для области $\pi/4 \leq \theta \leq \pi/2$. На рис. 3 эллипс $f_i^2 + 0,8944 f_i f_j + f_j^2 = 6\sigma^2$ не отвечает правилу точности. Однако, он отвечает ему во втором и четвертом квадрантах.

Выполним моделирование методом Монте-Карло 10000 раз, чтобы подтвердить алгоритм идентификации каждого дефекта для случаев одинарного и двойного дефекта соответственно. Шесть идентичных датчиков представлены конфигурацией додекаэдра, как показано на рис. 2.

Матрицы измерения H и V , которые удовлетворяют условиям $VH=0$ и $VV^T=I$, получены, как указано ниже:

$$H = \begin{bmatrix} 0,5257 & -0,5257 & 0,8507 & 0,8507 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5257 & -0,5257 & 0,8507 & 0,8507 \\ 0,8507 & 0,8507 & 0 & 0 & 0,5257 & -0,5257 \end{bmatrix}^T,$$

$$V = \begin{bmatrix} 0,3717 & 0,3717 & 0 & 0 & -0,6015 & 0,6015 \\ -0,6015 & 0,6015 & 0,3717 & 0,3717 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6015 & 0,6015 & 0,3717 & 0,3717 \end{bmatrix},$$

(20)

где $\|v_1\| = \|v_2\| = \dots = \|v_6\| = \sqrt{2}$.

Рассмотрим моделирование для случая одинарного дефекта. Мы предполагаем, что первый датчик имеет дефект $f(t) = [f_1(t) 0 \dots 0]^T$, с ненулевым значением $f_1(t)$, а шум измерения – белый гауссовский с нулевым средним и дисперсией $\sigma = 1$. Порог исключения датчика, заявленный в лемме 1, составляет $Th = \sqrt{2}\sigma$ для полученной

выше матрицы V .

На рис. 4 представлен результат моделирования Монте-Карло для случая оди-
нарного дефекта, где показаны $trace(C_{+1}(t))$ и $trace(C_{-1}(t))$. По горизонтальной оси
откладывается соотношение размера дефекта к шуму (соотношение F/N), а по верти-
кальной оси – величины $trace(C_{+1}(t))$ и $trace(C_{-1}(t))$. Когда сигнал дефекта $f_1(t)$
больше, чем $\sqrt{2}\sigma$, имеет место неравенство $trace(C_{+1}(t)) > trace(C_{-1}(t))$. Это нера-
венство, согласованное с леммой 1, означает, что, когда размер дефекта больший, чем
 $\sqrt{2}\sigma$, неисправный датчик нужно исключить, чтобы обеспечить меньшую ковариацию
ошибки $\hat{x}(t)$. Исключение неисправного датчика приводит к увеличению точности
системы транспортного средства.

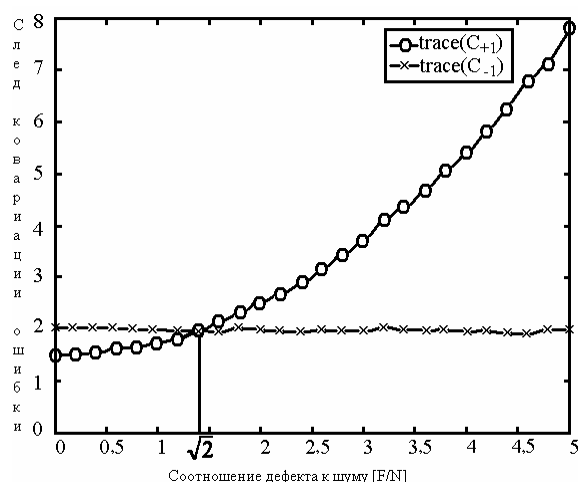


Рисунок 4 - Следы ковариации ошибки $trace(C_{+1}(t))$ и $trace(C_{-1}(t))$
относительно соотношения дефекта к шуму (F/N)

Для случая двойного дефекта, предполагаем, что первый и второй датчики име-
ют дефект вида $f(t) = [f_1 \ f_2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$, а величины f_1 и f_2 являются константами и
удовлетворяют прямую линию на рис. 5, а шум измерения – белый гауссовский с нуле-
вым средним и дисперсией $\sigma = 1$.

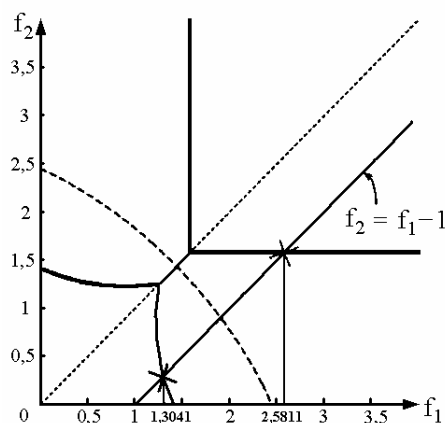


Рисунок 5 - Алгоритм решения для исключения ошибочных датчиков
и отношения двух величин дефекта для моделирования

На рис. 6 показаны результаты идентификации для двойных дефектов согласно размеру дефекта на рис. 5.

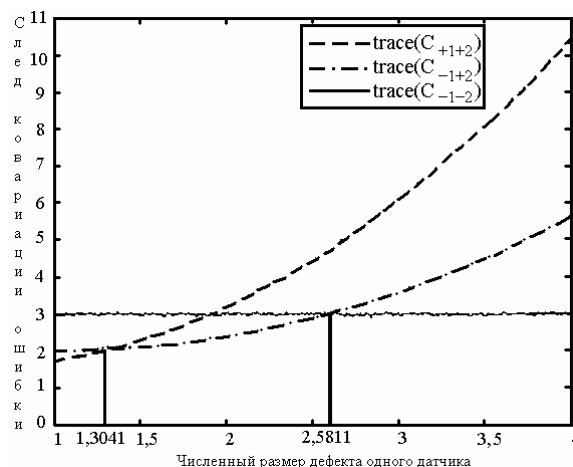


Рисунок 6 - Следи коваріації помилки $trace(C_{+1+2}(t))$, $trace(C_{-1+2}(t))$ і $trace(C_{-1-2}(t))$ відносно величини дефекта

Когда величины f_1 и f_2 принадлежат к области категории I, след $trace(C_{+1+2}(t))$ минимален среди трех следов коваріації помилки. Когда величины f_1 и f_2 принадлежат к областям категорий II и III, след $trace(C_{-1+2}(t))$ минимален, а для категории IV след $trace(C_{-1-2}(t))$ минимален.

Заключення. Таким образом, рассмотрена задача идентификации дефекта для избыточных систем датчика в зависимости от точности системы и предложен новый алгоритм идентификации для случая двойного дефекта. Алгоритм идентификации может быть распространен в двумерном пространстве решений. Алгоритм идентификации может быть применен к любым конфигурациям и любому числу датчиков.

Литература: 1. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта. – Харьков: ХГАДТУ, 1998. – 255 с. 2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 384 с. 3. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.

Назарова Н.В., Ніконов О.Я.

АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОДВІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ДАТЧИКІВ ТЕЛЕМАТИЧНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розглядається задача ідентифікації дефекту для телематичних систем транспортних засобів, які мають надлишкові датчики. Запропонований новий алгоритм ідентифікації для подвійних дефектів, що заснован на коваріації помилки вирішення надлишкових датчиків, яке є родинним для точності систем транспортних засобів. Запропонований алгоритм ідентифікації забезпечує правила точності, аби визначити який датчик потрібно виключити серед помилкових датчиків.

Nazarova N.V., Nikonov O.J.

OBSERVER IDENTIFIER OF DOUBLE SENSORS DEFECTS OF TELEMATIC TRANSPORT VEHICLES SYSTEMS

The defect identification problem is examined for telematic systems of transport vehi-

cles which have surplus sensors. A new observer identifier is offered for double defects, based on the decision error covariance of surplus sensors, which is family for exactness of the transport vehicle systems. The offered observer identifier provides the rules of exactness, to define which sensor it is needed to eliminate among erroneous sensors.
