Литература

1. Пиявский С.А. Оптимизация «мозаики критериев» // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. - Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2015.
2. Пиявский, С.А. Метод «уверенных суждений ЛПР» при принятии решений в условиях неустранимой неопределенности [Текст] / С. А. Пиявский, Самара, СГАСУ, 2014. – 24 с.
3. Walker J. A. Transactions on Mathematical Software // An Efficient Method for Generating Discrete Random Variables with General Distributions. - New York, NY, USA: ACM, 1977. - С. 253-256 .
4. Дональд Кнут Искусство программирования, том 2. Получисленные алгоритмы — 3-е изд. — М .: «Вильямс» , 2007. — С. 832. — ISBN 0-201-89684-2

С.А. Кузин, П.А. Львов

ДАТЧИК-СИГНАЛИЗАТОР ПОЖАРА ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СХЕМЫ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ

(Энгельсское опытно-конструкторское бюро «Сигнал»,
г. Энгельс, Саратовская область)

Мировой и отечественный опыт все более очевидно показывает, что эффективность борьбы с пожарами зависит в большей степени не от совершенствования методов пожаротушения, а от своевременности и точности оповещения о них на ранней стадии возникновения. Исследованиями и практикой доказано, что простым и надежным методом по упреждению пожаров в пассажирских терминалах является использование автоматических систем пожарной сигнализации и водного пожаротушения [1].

Определяющим фактором в своевременном тушении пожара является его раннее обнаружение и определение точного места возгорания. Для этого служат системы пожарной сигнализации, работающие постоянно и ведущие наблюдение за всеми помещениями объекта.

В случае, когда объектом, требующим защиты от пожара, является самолет (в том числе и беспилотный), то к системе сигнализации пожара предъявляются дополнительные требования: минимальный вес, удобство монтажа, высокая надежность извещателя пожара и т.д.

Самыми распространенными не только по эффективности обнаружения пожара, но и по иным параметрам, например, стоимости, простоте конструкции, времени автономной работы, являются тепловые пожарные извещатели. Само название говорит о том, что они реагируют на изменение температуры в помещении, или направленное тепловое излучение от горящих предметов.

Исходя из упомянутых выше требований была предложена следующая схема датчика-сигнализатора пожара для самолета. Его структурная схема по-

казана на рисунке 1, где обозначено I – генератор переменного тока; $A_1,\ldots, A_N$ – операционные усилители; MUX – мультиплексор; ADC – аналого-цифровой преобразователь (АЦП), MP – микропроцессор.

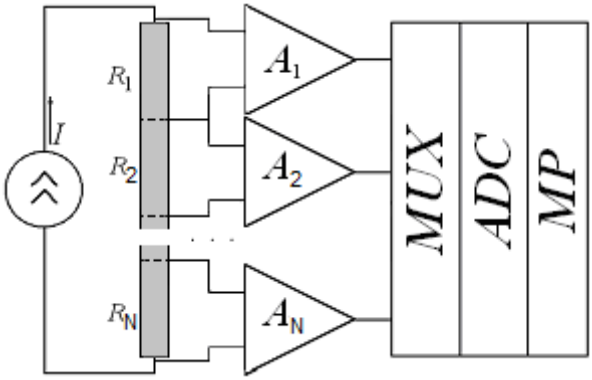

Рисунок 1 – Блок-схема датчика-сигнализатора

Работа датчика основана на следующем принципе. Никелевая проволока (на рисунке показана сплошным серым цветом) разбивается на N участков примерно равной длины, имеющих соответственно некоторые сопротивления $R_1,\ldots, R_N$. Вся проволока включается в петлю, питаемую переменным током от генератора. С каждого участка, на которые разбивается проволока, снимается напряжение, усиливаемое с помощью операционных усилителей $A_1,\ldots, A_N$. Сигналы с выходов операционных усилителей оцифровываются и подаются в микропроцессор, где производится вся последующая обработка в цифровом виде. Удобство этой схемы определяется тем, что сигналы с выходов операционных усилителей практически не зависят от сопротивлений соединительных проводов [2], хотя сами провода могут быть достаточно длинными и иметь разное сопротивление для различных участков никелевой проволоки.

Схематично сигнал, снимаемый с некоторого i-го участка, на которые разбита проволока, показан на рисунке 2. Оцифрованные сигналы, показанные вертикальными линиями) могут быть представлены в следующем виде [2]:

$$v_{ik} = V_i(t_k) = A_i\sin[2\pi f_0 t_{ik} + \varphi_i] + B_i +, \; i=1, 2,\ldots, N, \; k=1,2\ldots, K, \qquad (1)$$

где: $v_{ik} = V_i(t_k)$ – оцифрованное напряжение, снимаемое с участка с номером i в момент времени t_k; A_i и φ_i – неизвестные амплитуда и фаза сигнала, снимаемого с i-го участка; B_i – постоянная составляющая сигнала, которая необходима для его оцифровки в диапазоне от 0 до 5 В с помощью АЦП (считается неизвестной из-за нестабильности операционных усилителей, у которых возможен дрейф нуля); f_0 – известная частота генератора тока; ξ_{ik} – погрешности измерения напряжения на i-м участке в момент времени t_k, которые считаются случайными, распределенными по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и неизвестной дисперсией.

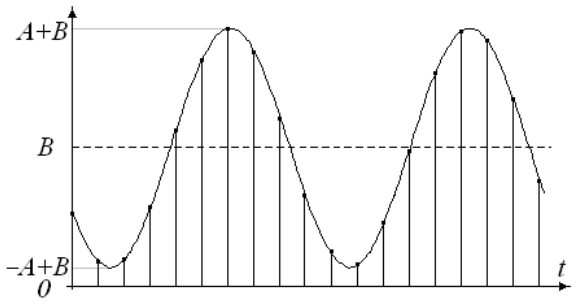

Рисунок 2 – Сигнал с выхода операционного усилителя и его дискретные отсчеты

Раскрыв скобки в (1), легко получить следующую систему:

$$v_{ik} = A_i\sin(2\pi f_0 t_{ik})\cdot\cos\varphi_i + A_i\cos(2\pi f_0 t_{ik})\sin\varphi_i + B_i + \xi_{ik},, i=1, 2,\ldots, N, \; k=1,2\ldots, K, \qquad (2)$$

которая после стандартной замены переменных:

$$\begin{cases} q_{1i} = A_i \cos\varphi_i, \\ q_{2i} = A_i \sin\varphi_i, \\ q_{3i} = B_i, \end{cases} \quad \begin{cases} x_{ik1} = \sin(2\pi f_0 t_{ik}), \\ x_{ik2} = \cos(2\pi f_0 t_{ik}), \\ x_{ik3} = 1; \end{cases} \quad k=1,2\ldots, K;\ i=1, 2,\ldots, N$$

становится линейной относительно новых неизвестных q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}:

$$v_{ik} = \sum_{j=1}^{3} q_{ij} x_{ikj} + \xi_{ik}, \quad i=1, 2,\ldots, N,\ k=1,2\ldots, K. \tag{3}$$

Итак, с каждого участка проволоки снимается серия из K измерений напряжения. Поскольку в системах (2) и (3) три неизвестных (амплитуда, фаза и смещение), то достаточно трех измерений, но для повышения точности объем выборки желательно делать больше ($K \geq 3$). На основании проведенных измерений для каждого участка находится амплитуда сигнала, которая в данном случае является информативным параметром. Если измерений больше трех, то система (3) решается по методу наименьших квадратов (МНК) [3]. Для удобства перепишем ее в матричном виде:

$$\boldsymbol{V}_i = \boldsymbol{X}_i \cdot \boldsymbol{q}_i + \boldsymbol{\Xi}_i, \quad i=1, 2,\ldots, N, \tag{4}$$

где обозначено: $\boldsymbol{V}_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{iK})^T$ – вектор измеренных напряжений; $\boldsymbol{q}_i = (q_{i1}, q_{i2}, q_{i3})^T$ – вектор промежуточных неизвестных; $\boldsymbol{X}_i = \begin{pmatrix} x_{i11} & x_{i12} & x_{i13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{iK1} & x_{iK2} & x_{iK3} \end{pmatrix}$.

Решение системы (6) по МНК задается известным выражением [3]:

$$\hat{\boldsymbol{q}}_i = (\boldsymbol{X}_i^T \boldsymbol{X}_i)^{-1} (\boldsymbol{X}_i^T V_i) \quad , \ i=1, 2,\ldots, N, \tag{5}$$

где $^{-1}$ обозначает операцию нахождения обратной матрицы, ^{T} – транспонирование матрицы, после чего вычисляется оценка амплитуды сигнала

$$\hat{A}_i = \sqrt{q_{i1}^2 + q_{i2}^2} \quad , \ i=1, 2,\ldots, N. \tag{6}$$

Датчик работает следующим образом. Производится постоянный мониторинг амплитуд всех участков, т.е. микропроцессор поочередно решает систему типа (3) или (4) для каждого участка. Если какой-то из участков (или несколько) подвергаются действию пламени пожара, то данный участок (участки) будет нагреваться, вследствие чего его сопротивление повысится. Так как ток в контуре петли имеет постоянную амплитуду, то амплитуда напряжения, снимаемого с нагреваемого участка, будет повышаться. Отслеживая изменение амплитуды сигнала с участков, можно определить номер участка, где произошло возгорание. Если изменение амплитуды не происходит, то это свидетельствует, что участок либо не подвергался действию пламени, либо это действие прекратилось (например, в результате автоматического тушения пожара).

В случае, когда участков много ($N \geq 12 \div 15$), а используемый микропроцессор имеет ограниченный ресурс по скорости обработки, то можно ускорить процесс решения системы (4) по МНК. Для этого требуется правильно спланировать проводимый эксперимент.

Основная сложность расчета оценок параметров $\boldsymbol{q}_i$ в соответствии с выражением (5) – это вычисление обратной матрицы от $(\boldsymbol{X}_i^T \boldsymbol{X}_i)$, которая имеет вид:

$$\left(\boldsymbol{X}_i^T \boldsymbol{X}_i\right)=\begin{pmatrix} \sum_{k=1}^{K}\cos^2(2\pi f_0 t_{ik}) & \sum_{k=1}^{K}\cos(2\pi f_0 t_{ik})\sin(2\pi f_0 t_{ik}) & \sum_{k=1}^{K}\cos(2\pi f_0 t_{ik}) \\ \sum_{k=1}^{K}\cos(2\pi f_0 t_{ik})\sin(2\pi f_0 t_{ik}) & \sum_{k=1}^{K}\sin^2(2\pi f_0 t_{ik}) & \sum_{k=1}^{K}\sin(2\pi f_0 t_{ik}) \\ \sum_{k=1}^{K}\cos(2\pi f_0 t_{ik}) & \sum_{k=1}^{K}\sin(2\pi f_0 t_{ik}) & K \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Если известна частота дискретизации АЦП f_s, то необходимо так выбрать частоту генератора синусоидального напряжения f_0, чтобы она в целое число раз была меньше f_s, т.е. частота дискретизации должна быть кратна частоте генератора. В этом случае на одном периоде сигнала генератора будет укладываться постоянное целое количество отсчетов этого сигнала. Другими словами интервал времени между соседними отсчетами Δt будет связан с периодом сигнала генератора T_0 следующим соотношением: $T_0 = M\cdot\Delta t$, где M – целое число.

В этом случае все следующие суммы будут равны нулю, как суммы целого числа отсчетов на полном периоде гармонического сигнала:

$$\sum_{k=1}^{K} cos(2\pi f_0 t_{ik}) = \sum_{k=1}^{K} sin(2\pi f_0 t_{ik}) = \sum_{k=1}^{K} cos(2\pi f_0 t_{ik}) sin(2\pi f_0 t_{ik}) = 0, \; i=1, 2,\ldots, N,$$

а две другие суммы, входящие в (7), соответственно равны:

$$\sum_{k=1}^{K} cos^2(2\pi f_0 t_{ik}) = \sum_{k=1}^{K} sin^2(2\pi f_0 t_{ik}) = \frac{K}{2} \; i=1, 2,\ldots, N.$$

Тогда выражение для матрицы $\left(\boldsymbol{X}_i^T \boldsymbol{X}_i\right)$ существенно упрощается:

$$\left(\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i\right) = K\begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \; i=1, 2,\ldots, N. \text{ Откуда } \left(\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i\right)^{-1} = \frac{1}{K}\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

После этого выражения для оценок коэффициентов q_{i1} и q_{i2}, от которых зависит амплитуда, легко выписываются аналитически:

$$\hat{q}_{i1} = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} v_{ik}\, cos(2\pi f_0 t_{ik}), \; \hat{q}_{i2} = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} v_{ik}\, sin(2\pi f_0 t_{ik}) \; i=1, 2,\ldots, N, \quad (8)$$

Есть еще один резерв повышения скорости расчета оценок в соответствии с (8). Пусть моменты отсчетов сигнала на каждом из участков будут:

$$t_{ik} = t_{i0} + (k-1)\Delta t, \quad i=1, 2,\ldots, N, \; k=1,2\ldots, K. \quad (9)$$

Поскольку нас интересует только оценка амплитуды, то величину t_{i0} можно выбрать произвольной, например, $t_{i0} = 0$. Тогда можно заранее рассчитать все синусы и косинусы от кратных Δt моментов времени (9), которые запоминаются в памяти микропроцессора. В результате вычисление оценок параметров q_{i1} и q_{i2} сведется к вычислению взвешенных сумм:

$$\hat{q}_{i1} = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} v_{ik} c_k, \; \hat{q}_{i2} = \frac{2}{K}\sum_{k=1}^{K} v_{ik} s_k \; i=1, 2,\ldots, N, \; k=1,2\ldots, K, \quad (10)$$

где: $c_k = \cos[2\pi f_0(k-1)\Delta t]$ и $s_k = \sin[2\pi f_0(k-1)\Delta t]$ – числа из памяти микропроцессора.

Более того, может быть можно проводить анализ, не используя амплитуды, а только их квадраты. Тогда можно не вычислять корень из суммы квадратов оценок q_{i1}и q_{i2}, в выражении (6), что еще упрощает все расчеты.

Предложенный датчик-сигнализатор пожара очень прост в изготовлении, при этом его несложно монтировать в самолете. Поэтому авторы считают перспективным его использования для сигнализации возможных пожаров на самолетах, в том числе и беспилотных.

Литература

1. Бочкарев, А.Н. Система противопожарной безопасности на авиатранспорте / А.Н. Бочкарев, И.А. Бочкарев // Мир транспорта, 2013. – № 3. – С. 162-167.

2. L’vov, A.A. The use of current loop circuit as a signal conditioner for high accuracy digital piezoresistive pressure sensors / A.A. L’vov, P.A. L’vov, R.S. Konovalov, S.A. Kuzin // Proceedings of X International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines”. – Omsk: Omsk State Technical University, 2016. – P. 24-28.

3. L’vov, A. Improvement of Piezoresistive Pressure Sensor Accuracy by Means of Current Loop Circuit Using Optimal Digital Signal Processing / A. L’vov, P. L’vov, R.Konovalov // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2016 ElConRusNW), February 2-3, 2016, St. Petersburg, Russia, P. 279-282.

П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов

МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИНВАРИАНТНЫЙ К ОСВЕЩЕННОСТИ СЦЕНЫ

(Самарский государственный технический университет)

Введение. Базовой операцией при решении задачи построения 3-D модели сцены, наблюдаемой видеосистемой, является совмещение регистрируемых видеосистемой кадров изображения. Одним из факторов, существенно затрудняющих такое совмещение, является изменение освещенности наблюдаемой сцены в процессе регистрации. В докладе излагается вариант метода совмещения изображений, инвариантный к изменению освещенности сцены. Метод является развитием изложенного в [1, 2] метода функционализации параметров изображений (далее, метод функционализации). Предлагаемый вариант метода функционализации отличается от исходного тем, что в нем использован нелинейный нормированный функционал, инвариантный к вариации освещенности сцены.

Постановка задачи совмещения изображений

Функцию распределения освещенности (ФРО) изображения, формируемую бортовой либо стационарной изобразительной системой (ИС) в момент времени t, обозначим как $E(\boldsymbol{x}, t)$. Считается, что ИС изопланатична.