

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 4

1972

УДК 658.562

Г. П. ШИВАНОВ

(Москва)

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПО ИЗМЕНЕНИЮ СВЕТОВОГО ФОНА
ПРИБОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Операторы сложных технических комплексов типа прокатных станов, электростанций, корабельных ядерных силовых установок, крупных диспетчерских пунктов на транспорте (морском, железнодорожном, воздушном) вынуждены в ряде случаев работать в условиях острого дефицита времени с высокой эмоциональной нагрузкой. Для сокращения времени распознавания симптомов, приводящих к развитию аварийных ситуаций, и повышения в целом качества процесса управления комплексами представляется целесообразным при реализации процедур считывания и анализа показаний индикаторов и световых сигнализаторов дублировать оператора автоматическими средствами, которые по изменению светового фона приборных панелей осуществляли бы распознавание режимов работы комплексов и формирование управляющих воздействий либо сигналов, предупреждающих оператора о возможности появления аварийной ситуации. Такие автоматические средства могли бы включаться либо с пульта управления самим оператором, либо автоматически по сигналам датчиков, регистрирующих изменение биопотенциалов его мозга. Использование этих средств сводит задачу оценки технического состояния управляемых комплексов к задаче распознавания набора визуальных изображений, каждое из которых характерно для определенного режима работы оборудования. Последняя из задач в свою очередь может быть сведена к последовательному выполнению двух этапов: подготовительного этапа, в процессе которого должны быть выделены признаки, характеризующие каждое из известных состояний управляемого комплекса, и этапа непосредственного распознавания текущих состояний.

При реализации первого этапа развертка изображений светового фона приборных панелей осуществляется с меньшим шагом квантования, нежели на втором этапе. Изменение шага квантования определяется необходимостью получения данных о подлежащих распознаванию изображениях приборных панелей не только в тех точках, по которым ведется их сравнение с эталоном, но и в окрестностях этих точек. Указанные данные позволяют получить приближенные значения производных по: а) вариациям бликов на приборных панелях и вариациям их освещенности, вызванным изменением светового потока, поступающего от окон или иллюминаторов; б) световым помехам, возникающим из-за

включения в помещениях, где размещается пост управления, различных источников света, расположенных за пределами приборных панелей; в) смещению изображений приборных панелей относительно центра рецепторного поля считывающей системы, вызванного, например, погрешностями монтажа последней; и по другим мешающим факторам.

Из-за наличия различных мешающих факторов, в том числе и упомянутых выше, каждое конкретное изображение светового фона приборной панели, полученное на этапе непосредственного распознавания, может несколько не совпадать с соответствующим ее эталонным изображением, зафиксированным на подготовительном этапе в условиях, принятых за стандартные. Поэтому на этапе непосредственного распознавания перед процессом идентификации изображений необходимо определить корректирующие поправки, которые позволили бы компенсировать отличия фактического изображения от изображения, принятого за эталонное. Для этого каждой из n точек изображения ставится в соответствие функция $U_i (1, \dots, n)$ напряжения на выходе считывающей системы:

$$U_i = U(X_i, Y_i; x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}),$$

где X_i, Y_i — координаты i -й точки изображения; $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ — ошибки искажающие изображение i -й точки приборной панели, и вносящие различные факторами, условно обозначенными индексами $1, 2, \dots, m$; m — суммарное количество факторов, вызывающих отклонение фактических изображений светового фона приборной панели от ее соответствующего изображения, принятого за эталонное.

Корректирующие поправки определяются на основе линейного представления ошибок $x_{ij} (j = 1, 2, \dots, m)$ относительно функции U_i . Ошибка же выходного сигнала считывающей системы для каждой из i точек изображения будет составлять

$$\Delta_i = U_i - U_i^0, \quad (1)$$

где U_i^0 — величина сигнала на выходе считывающей системы, имеющая место в процессе развертки изображения, принятого за эталонное, при прохождении считывающим лучом (предполагается использование электронной развертки) его i -й точки. При линейном разложении функции (1) может быть получена следующая зависимость ее от ошибок x_{ij} :

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m \frac{\partial \Delta_i}{\partial x_{ij}} x_{ij}. \quad (2)$$

Практически $m \leq 5$ (ниже будем считать $m = 5$). Тогда выражение (2) для i -й точки изображения может быть представлено в виде

$$\Delta_i = ax_{i1} + bx_{i2} + cx_{i3} + dx_{i4} + ex_{i5},$$

где a, b, c, d, e — соответственно значения частных производных:

$$\frac{\partial \Delta_i}{\partial x_{i1}}, \frac{\partial \Delta_i}{\partial x_{i2}}, \dots, \frac{\partial \Delta_i}{\partial x_{i5}}.$$

Для всего изображения оно может быть записано в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \Delta_1 = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3 + d_1x_4 + e_1x_5; \\ \Delta_2 = a_2x_1 + b_2x_2 + c_2x_3 + d_2x_4 + e_2x_5; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Delta_n = a_nx_1 + b_nx_2 + c_nx_3 + d_nx_4 + e_nx_5. \end{cases} \quad (3)$$

Предъявив к системе (3) требование

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \right)_{\min}, \quad (4)$$

получим:

$$\begin{cases} [a^2] x_1 + [ab] x_2 + \dots + [ae] x_5 = [a\Delta]; \\ [ab] x_1 + [b^2] x_2 + \dots + [be] x_5 = [b\Delta]; \\ \cdot \quad \cdot \\ [ae] x_1 + [be] x_2 + \dots + [e^2] x_5 = [e\Delta], \end{cases} \quad (5)$$

где $[a^2] = \sum_{i=1}^n a_i^2$; $[ab] = \sum_{i=1}^n a_i b_i$ и т. д.

Система (5) может быть решена предварительно в процессе проведения пуско-наладочных работ технического комплекса и в период его опытной эксплуатации путем определения обратной матрицы, поскольку производные a, b, c, d, e для заданного светового фона приборной панели, соответствующего определенному техническому состоянию указанного комплекса, будут представлять собой постоянные числа.

Результаты решения могут быть представлены в виде:

$$\begin{cases} x_1 = \alpha_1 \Delta_1 + \alpha_2 \Delta_2 + \dots + \alpha_n \Delta_n = [\alpha \Delta]; \\ x_2 = \beta_1 \Delta_1 + \beta_2 \Delta_2 + \dots + \beta_n \Delta_n = [\beta \Delta]; \\ \cdot \quad \cdot \\ x_5 = \xi_1 \Delta_1 + \xi_2 \Delta_2 + \dots + \xi_n \Delta_n = [\xi \Delta], \end{cases}$$

где $\alpha, \beta, \dots, \xi$ — весовые коэффициенты, являющиеся для данного состояния рассматриваемого технического комплекса постоянными величинами.

Компенсация ошибок Δ_i возможна путем реализации соотношений:

$$\begin{cases} \Delta_1^* = \Delta_1 - (a_1 x_1 + b_1 x_2 + \dots + e_1 x_5); \\ \Delta_2^* = \Delta_2 - (a_2 x_1 + b_2 x_2 + \dots + e_2 x_5); \\ \cdot \quad \cdot \\ \Delta_n^* = \Delta_n - (a_n x_1 + b_n x_2 + \dots + e_n x_5). \end{cases} \quad (6)$$

Однако на этапе непосредственного распознавания реализация данных соотношений вызывает некоторые затруднения, связанные с необходимостью выполнения неоднородных вычислительных операций и хранения в памяти ЦВМ больших массивов частных производных. В связи с этим соотношения (6) целесообразно преобразовать следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta_i^* &= \Delta_i - (a_i x_1 + b_i x_2 + \dots + e_i x_5) = \Delta_i - [a_i (\alpha_1 \Delta_1 + \alpha_2 \Delta_2 + \dots + \alpha_n \Delta_n) + b_i (\beta_1 \Delta_1 + \beta_2 \Delta_2 + \dots + \beta_n \Delta_n) + \dots + e_i (\xi_1 \Delta_1 + \xi_2 \Delta_2 + \dots + \xi_n \Delta_n)] = (-a_i \alpha_1 - b_i \beta_1 - \dots - e_i \xi_1) \Delta_1 + (-a_i \alpha_2 - b_i \beta_2 - \dots - e_i \xi_2) \Delta_2 + \dots + (1 - a_i \xi_1 - b_i \xi_2 - \dots - e_i \xi_n) \Delta_i + \dots + (-a_i \alpha_n - b_i \beta_n - \dots - e_i \xi_n) \Delta_n = \mu_{i1} \Delta_1 + \mu_{i2} \Delta_2 + \dots + \mu_{in} \Delta_n, \end{aligned}$$

где

$$\mu_{i1} = -a_i \alpha_1 - b_i \beta_1 - \dots - e_i \xi_1;$$

$$\mu_{i2} = -a_i \alpha_2 - b_i \beta_2 - \dots - e_i \xi_2;$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\mu_{ii} = 1 - a_i \alpha_i - b_i \beta_i - \dots - e_i \xi_i;$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\mu_{in} = -a_i \alpha_n - b_i \beta_n - \dots - e_i \xi_n.$$

Таким образом, соотношения (6) можно представить в виде:

$$\begin{aligned}\Delta_1^* &= \mu_{11}\Delta_1 + \mu_{12}\Delta_2 + \dots + \mu_{1n}\Delta_n; \\ \Delta_2^* &= \mu_{21}\Delta_1 + \mu_{22}\Delta_2 + \dots + \mu_{2n}\Delta_n; \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Delta_n^* &= \mu_{n1}\Delta_1 + \mu_{n2}\Delta_2 + \dots + \mu_{nn}\Delta_n,\end{aligned}\tag{7}$$

где

$$\begin{aligned}\mu_{ij} &= -(a_i\alpha_j + b_i\beta_j + \dots + e_i\xi_j) \quad \text{при } i \neq j; \\ \mu_{ii} &= 1 - (a_i\alpha_i + b_i\beta_i + \dots + e_i\xi_i) \quad \text{при } i = j.\end{aligned}\tag{8}$$

Коэффициенты μ_{ij} представляют собой постоянные числа, однозначно характеризующие заданный световой тон приборных панелей, а следовательно, и соответствующее этому световому фону состояние данного технического комплекса. Эти числа составляют симметричную матрицу ($\mu_{ij} = \mu_{ji}$). Поэтому в памяти ЦВМ, реализующей этап непосредственного распознавания текущих состояний комплекса в период его нормального функционирования, целесообразно хранить не все коэффициенты, количество которых равно n^2 , а только $n(n+1)/2$.

Критерием соответствия распознаваемого изображения эталонному может служить соотношение

$$[(\Delta^*)^2] \leq D, \tag{9}$$

где D — допустимая сумма квадратов ошибок Δ_i^* , определяемая на основании эксперимента.

В соответствии с изложенным для распознавания текущего состояния технических комплексов предварительно на этапе их отладки и опытной эксплуатации вычисляются производные a, b, c, d, e и при условии (4) решается система (3) до получения коэффициентов μ_{ij} по формулам (8). С целью вычисления производных a, b, c, d, e для каждой из n дискретных точек изображений, принятых за эталонные, определяются приращения функции U_i^0 .

Для усиления сходимости процесса коррекции при больших деформациях распознаваемого изображения, следует стремиться к получению значений U_i^0 не с точки, а с некоторой площади. Последнее может быть достигнуто необходимым увеличением диаметра считающего луча или некоторой расфокусировкой системы считывания.

Однако при чрезмерном увеличении диаметра считающего луча могут исчезнуть некоторые существенные элементы изображения приборных панелей. Поэтому вопрос об оптимальном диаметре считающего луча должен решаться каждый раз применительно к конкретным интерьерам рабочих мест операторов.

Этап непосредственного распознавания текущих состояний комплексов в условиях нормальной повседневной их эксплуатации сводится при наличии значений U_i^0 и μ_{ij} к выполнению вычислительной процедуры в соответствии с формулами (1), (7), (9).

В заключение следует отметить, что при неизменных условиях освещенности приборных панелей (при закрытых люминаторах или окнах и дежурном освещении помещений, в которых размещаются посты управления) необходимость в определении корректирующих поправок отпадает, что позволяет существенно упростить описанный алгоритм обработки исходной информации и значительно сократить объем вычислений.

Поступила в редакцию
3 декабря 1971 г.