

при изменении номиналов C_m , C_0 под воздействием колебаний температуры окружающей среды.

При технической реализации измерителя был использован МК ATmega16 корпорации Atmel. Автогенераторный преобразователь (рис. 2) выполнен на операционном усилителе КР544УД2А. В качестве датчика температуры применялась специализированная микросхема DS18B20, которая сразу преобразует температуру в цифровой код и обеспечивает измерение температуры в диапазоне $(-55...+125)$ °С с дискретностью 0,0625 °С. Погрешность составляет $\pm 0,5$ °С в диапазоне $(-10...+85)$ °С. Считывание значения измеренной температуры, а также передача команды начала температурного преобразования и других команд производится с помощью 1-проводного интерфейса (1-Wire™) фирмы DALLAS.

Испытания измерителя проводились в интервале температур $(10...40)$ °С. Максимальная относительная погрешность измерения емкости в диапазоне

$(10...1200)$ пФ составила 5 % при измеряемых сопротивлениях от 1 кОм и выше. Для уменьшения погрешности измерения емкости предложенным методом целесообразно адаптировать измеритель к конкретным практическим задачам с заранее известными диапазонами изменения параметров исследуемых диссипативных RC-двухполюсников.

Библиографические ссылки

1. Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г. Измерение параметров диссипативных CG-двухполюсников // Информационное и техническое обеспечение информационных технологий : Материалы республиканской науч.-метод. очно-заочной конф. – Ч. 1. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2010. – С. 61–70.

2. Подкин Ю. Г. Особенности проектирования модулей релаксационных преобразователей для систем контроля диэлектрических дисперсных материалов // Приборостроение и средства автоматизации. – 2004. – № 1. – С. 62–69.

E. D. Makshakov, Postgraduate Student, Sarapul Polytechnical Institute, Branch of Izhevsk State Technical University

Temperature Correction in the Relaxation Autogenerating Measuring Converter

A way to decrease a capacity measurement error, based on the temperature correction of the relaxation period of an autogenerating converter is offered. The study is directed to optimization of relaxation measuring converters for monitoring systems of RC-sensors. The developed scheme contains a microcontroller, temperature sensor and an equivalent RC two-terminal element.

Key words: equivalent RC two-terminal element, relaxation autogenerating converter, microcontroller, sensor of temperature, temperature correction.

УДК 004.932

Р. А. Хатбуллин, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ЯРКОСТИ СВЕТОВОГО ПЯТНА ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Приводится подробное описание алгоритма определения центра яркости светового пятна, полученного с помощью цифровой измерительной камеры. Алгоритм рассчитан на получение стабильных результатов при различных условиях съемки, что достигается контролем изображения пятна по параметрам яркости, размерам пятна и их количеству. Алгоритм рассчитан на использование в измерительных системах и системах контроля.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, алгоритм обработки, измерительная система, системы контроля.

Существуют множество задач, при которых возникает необходимость вычисления центра яркости светового пятна, полученного с цифровой матрицы видео камеры. Необходимость таких вычислений возникает при использовании видеокамеры в качестве элемента измерительной или контролирующей системы. При построении таких систем появляется ряд специфических требований к такой камере, например, требования к конструкции камеры в зависимости от условий эксплуатации, исключение оптических элементов на входе камеры для обеспечения точности определения центра яркости светового пятна, получения

большого количества уровней серого на выходе черно-белой матрицы. Перечень таких требований можно значительно расширить; в конечном счете это приводит к особенностям вычисления центра яркости светового пятна [1, 2].

К таким особенностям вычисления следует отнести следующие требования:

- получение стабильных результатов при сохранении внешних условий измерения, таких как температура окружающей среды, влажность, фон освещенности, ветровое состояние и т. п.;
- получение координат центра яркости пятна вне зависимости от размера кадра изображения, выра-

женных в количестве пикселей по горизонтали и вертикали кадра обработки;

- минимально возможное время обработки кадра при условии сохранения стабильных результатов измерения;

- исключение из обработки кадров с возможными дефектными изображениями светового пятна, приводящих к ошибочным результатам измерений.

Данные требования сформированы исходя из следующих условий:

- точность определения центра яркости пятна на матрице измерительной камеры не является основным критерием, при вычислении относительных величин перемещения объекта контроля;

- минимальное время получения координат центра яркости является важным фактором при исследовании динамических характеристик объекта контроля;

- исключение априорных ошибок измерения при сохранении простоты алгоритма вычисления центра яркости пятна.

Алгоритм определения координат центра яркости пятна

Для данных требований и условий был разработан алгоритм вычисления центра яркости светового пятна для изображения пятна, полученного с цифровой матрицы видеокамеры. Приведем описание данного алгоритма, разбив его на условные этапы вычислений.

Этап 1. Производится съемка кадра изображения размерностью $(n \times n)$ или его части при условии, что центр части кадра строго определен относительно начальных координат полного кадра. Для удобства расчетов кадр будем формировать в виде квадратного изображения, где n – количество пикселей по вертикали (ось Y) и по горизонтали (ось X).

В зависимости от объекта контроля и условий измерения таких съемок может быть три и более.

Этап 2. Производится поиск светового пятна по значениям яркости пикселей по оси X или Y . Построение выполняется следующим образом:

- для выбранной координаты (условно первая координата i) в каждой точке i по другой координате (условно вторая координата j) находится пиксель с наибольшей яркостью и фиксируется значение второй координаты $j_{-center}$, т. е. выполняется следующее условие:

$$j_{-center} = j \Leftrightarrow \exists j, L_{(i, j_{-center})} = \max_{j=j_{min}}^{j_{max}} L_{(i, j)}, \quad (1)$$

где $L_{(i, j)}$ – яркость пикселя в точке i по первой координате и j по второй координате;

- контролируем яркость данного пикселя по порогу яркости $ThrL_1$ относительно максимально возможной яркости L_{max} , которая определяется количеством уровней серого. Если яркость пикселя $(i, j_{-center})$ превышает пороговое значение $ThrL_1 \times L_{max}$, то продолжаем вычисления по поиску пятна яркости, иначе увеличиваем значение по первой координате $i = i + 1$ и повторяем поиск пикселя с наибольшей яркостью по второй координате; если для первой координаты

достигнута конечная точка i_{max} , то переходим к этапу 3. Это можно записать как

$$\exists i : i = i_{max} \text{ и переход на выполнение этапа 3}$$

$$i \neq i_{max} \wedge L_{(i, j_{-center})} \leq ThrL_1 \times L_{max} : i = i + 1 \quad (2)$$

и переход на выполнение формулы (1)

$$i \neq i_{max} \wedge L_{(i, j_{-center})} > ThrL_1 \times L_{max}$$

и переход на выполнение формулы (3);

- при продолжении вычисления задается второй порог яркости $ThrL_2$, и относительно нового порогового значения $ThrL_2 \times L_{max}$ вычисляются максимальные $j_{max-center}$ и минимальные значения $j_{min-center}$ значения точек по второй координате относительно точки $(i, j_{-center})$, для которых яркость пикселя выше второго порогового значения. Для пикселей с координатами от $(i, j_{min-center})$ до $(i, j_{max-center})$ вычисляется суммарная групповая яркость пикселей GL_i и их количество $n_i = j_{max-center} - j_{min-center}$. Это можно записать как

$$\begin{cases} j_{min-center} = j \Leftrightarrow \exists j = \min \{ j_{min}, j_{-center} \} \in \\ \in \{ j \mid L_{(i, j)} > ThrL_2 \times L_{max} \}, \\ j_{max-center} = j \Leftrightarrow \exists j = \max \{ j_{-center}, j_{max} \} \in \\ \in \{ j \mid L_{(i, j)} > ThrL_2 \times L_{max} \}; \end{cases} \quad (3)$$

$$GL_i = \sum_{j=j_{min-center}}^{j_{max-center}} L_{(i, j)} \text{ и } n_i = 0;$$

$$n_i = j_{max-center} - j_{min-center};$$

- выполняем контроль по наличию слишком большого диаметра светового пятна D_{max} по текущей координате i . Наличие большого диаметра светового прерывает алгоритм вычисления центра яркости. Алгоритм возвращается к этапу 1 с фиксацией ошибочного кадра:

$$d_L = n_i \Rightarrow d_L > D_{max}, \quad (4)$$

переход к этапу 1, иначе выполняем формулу (5);

- контролируем вычисление формул (1)–(4), по точкам i для первой координаты:

$$\exists i, i \neq i_{max} \Rightarrow i = i + 1, \quad (5)$$

переход к выполнению формулы (1), иначе переход на выполнение формулы (6);

- в результате вычисления по формулам (1)–(4) получили два множества: $\{L_i\}$ и $\{n_i\}$, где L_i – это суммарная оценка яркости для n_i количества пикселей. Осуществляем контроль наличия светового пятна по условию, что параметр n_i для произвольного значения i имеет не нулевое значение. Если все значения n_i нулевые, то алгоритм возвращается к этапу 1 с фиксацией ошибочного кадра:

$$\exists n_i, \{n_i \mid n_i \neq 0, i \in (i_{min}, i_{max})\}, \quad (6)$$

то выполняем формулу (7), иначе переход на выполнение формулы (1);

– осуществляем определение области светового пятна по первой координате i . Световое пятно должно быть единственным. При обнаружении второго светового пятна алгоритм возвращается к этапу 1 с фиксацией ошибочного кадра. Для этого анализируются ненулевые значения n_i при условии, что соседнее значение n_{i+1} также не имеет нулевого значения. Определяются начальные значения индекса i как i_{start} и конечные значения как i_{end} , в интервале которых ранее были обнаружены непрерывные ненулевые значения n_i . Вычисляем длину интервала $i_{end} - i_{start}$, что характеризует ширину светового пятна в пикселях. И если данная ширина больше минимально возможного диаметра светового пятна D_{min} , то принимается решение об обнаружении первого пятна. В любом случае продолжается поиск других световых пятен до достижения индекса i конечного значения i_{max} . Если все обнаруженные интервалы $i_{end} - i_{start}$ имеют значения меньше, чем D_{min} , то принимается решение об отсутствии светового пятна и алгоритм возвращается к этапу 1 с фиксацией ошибочного кадра:

$$\forall i \in [i_{start}, i_{end}], n_i \neq 0 \Rightarrow d_L = i_{end} - i_{start} \text{ и } d_L > D_{min}, \quad (7)$$

выполняем формулу (8), иначе переход
на выполнение формулы (1);

$$\forall [i_{start}, i_{end}] \in \{i_{min}, i_{max}\}, d_L = i_{end} - i_{start} < D_{min} \text{ или}$$

$$\forall j \in [j_{start}, j_{end}], n_j \neq 0 \Rightarrow d_L = j_{end} - j_{start} \text{ и } d_L > D_{min}, \quad (8)$$

выполняем формулу (1), иначе переход
на выполнение формулы (9);

– для обнаруженного интервала индексов, которые соответствуют единственному световому пятну, вычисляется суммарная яркость пикселей L_Σ . Вычисляется средняя яркость, которая приходится на один пиксель \bar{L} . Задается третий порог яркости $ThrL_3$, и относительно нового порогового значения $ThrL_3 \times L_{max}$ производится контроль данного значения средней яркости. Если средняя яркость пикселя оказывается больше порогового значения, то кадр считается ошибочным и алгоритм возвращается к этапу 1 с фиксацией ошибочного кадра. Для дальнейшего вычисления производится нормирование яркостей делением суммарной оценки яркости L_i на суммарное значение яркости L_Σ , что условно можно считать вероятностью уровня яркости p_i от значения индекса по первой оси внутри пятна яркости, и можно использовать методы обработки изображений с использованием гистограммы яркости [3]. Тогда центр яркости пятна X_M можно вычислить как математическое ожидание $M[x]$ дискретного распределения:

$$L_\Sigma = \sum_{i=i_{start}}^{i_{end}} L_i; \quad n_\Sigma = \sum_{i=i_{start}}^{i_{end}} n_i \Rightarrow \bar{L} = L_\Sigma / n_\Sigma \text{ и}$$

$$\bar{L} > ThrL_3 \times L_{max}, \quad (9)$$

выполняем формулу (1), иначе переход
на выполнение формулы (10);

$$\forall i \in [i_{start}, i_{end}]: p_i = L_i / L_\Sigma \text{ и}$$

$$X_M = M[x] = \sum_{i=i_{start}}^{i_{end}} x_i p_i. \quad (10)$$

Этап 3. Если этап 2 выполнялся при условии, что в качестве первой координаты была принята горизонтальная ось, а в качестве второй – вертикальная, то их следует поменять местами и вернуться к выполнению этапа 2. Таким образом, получим в первом случае центр яркости пятна по горизонтальной оси (ось X), а во втором по вертикальной оси (ось Y).

Применение алгоритма

Данный алгоритм используется в системах технического контроля сохранности положения элементов относительно друг друга при расположении элементов на расстоянии порядка 10 метров. Система позволяет производить контроль смещения элементов в пространстве, это линейные смещения по трем осям и повороты вокруг оси. Система обладает чувствительностью до сотых долей миллиметра при линейных смещениях и до сотых долей минут при поворотах вокруг оси. Световое пятно формируется системой лазерных излучателей и считывается с черно-белой цифровой матрицы с 4096 уровнями градации яркости на пиксель (разрядность АЦП – 12) и размером 2048 × 2048 пикселей. Объект контроля функционирует в темном помещении при отсутствии перемешивания воздушных масс.

Для этих условий были произведены стендовые испытания системы контроля, в ходе которых выбраны оптимальные значения порогов яркости: $ThrL_1 = 0,6$; $ThrL_2 = 0,4$ и $ThrL_3 = 0,9$, а также максимальные и минимальные диаметры светового пятна: $D_{max} = 500$ и $D_{min} = 100$ пикселей. Для удобства выбора данных значений и тестирования алгоритма производились съемки кадров при отсутствии ошибочных ситуаций и при имитации ошибочных кадров. Данные кадры обрабатывались, и производилось построение гистограмм яркости по осям X и Y . На рис. 1 представлен кадр изображения и две гистограммы при отсутствии ошибочных ситуаций.

На гистограммах минимальные и максимальные значения соответствуют параметру L_i .

На рис. 2 имеется ошибочная ситуация в виде двух пятен яркости и более светлого фона кадра.

На рис. 3 имеется ошибочная ситуация в виде слияния двух пятен яркости.

При обработке данных изображений центр яркости пятна обнаруживается для кадра на рис. 1. Кадры, представленные на рис. 2 и 3, воспринимаются как ошибочные по критерию слишком большого пятна по оси X , так как алгоритм начинает обработку кадра с оси X . Как видно из гистограмм яркости такой результат отбраковки кадров вполне логичен по причине большого уровня оценки минимальной яркости. Для кадра на рис. 2 это значение составляет 673,8 и для кадра на рис. 3 – 1052,9, что указывает на увеличенный фон засветки кадра, например, по сравнению с кадром, представленным на рис. 1, где

оценка минимального уровня яркости составляет 56,58. И в соответствии с этим получились повышенные оценки максимальных уровней яркостей на ошибочных кадрах, что воспринимается алгоритмом как слияние двух световых пятен в одно, и отбраков-

ка происходит по критерию превышения максимального диаметра светового пятна. Для обнаружения ошибки алгоритмом по критерию наличия двух световых пятен необходимо уменьшить фон засветки кадра.

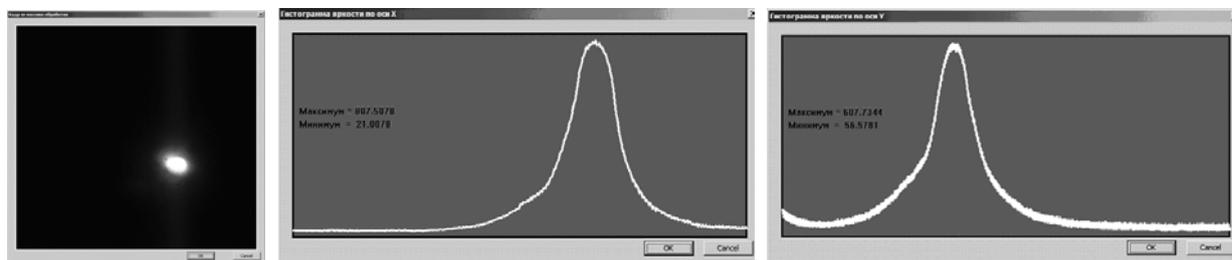


Рис. 1. Кадр изображения и гистограммы яркости при отсутствии ошибочных ситуаций



Рис. 2. Кадр изображения и гистограммы яркости при ошибочной ситуации в виде двух световых пятен

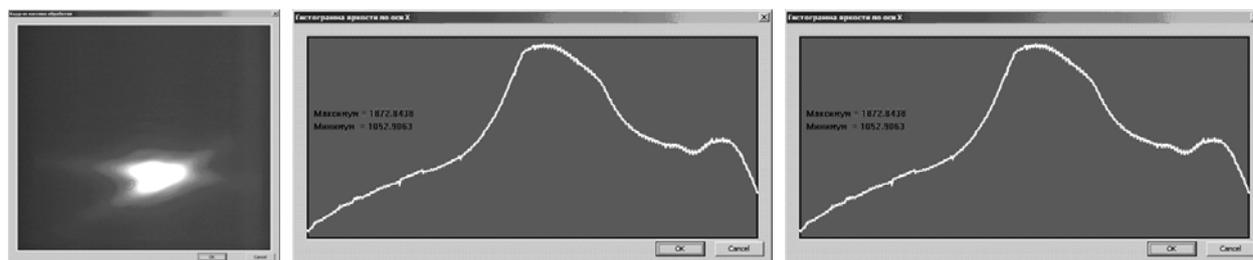


Рис. 3. Кадр изображения и гистограммы яркости при ошибочной ситуации в виде слияния двух световых пятен

Заключение

Алгоритм в ходе тестирования на стендовом оборудовании подтвердил стабильность обнаружения центра яркости светового пятна, безошибочно отбраковывает «неудачные» кадры, позволяет адаптироваться к различным условиям работы системы контроля, включая и изменения размеров зон съемки светового пятна. В этом случае из алгоритма исключается контроль по порогу засветки – $ThrL_3 = 0,9$, так как практически пятно яркости занимает всю зону съемки.

Библиографические ссылки

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. ; под ред. Д. С. Лебедева. – М. : Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. ; под ред. Д. С. Лебедева. – М. : Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. ; под ред. П. А. Чочиа. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

R. A. Khatbullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Determination of Light Spot Brightness Center Coordinates for Measuring System

A detailed description of the algorithm of determining the brightness center of the light spot, obtained by a digital measuring camera is presented. The algorithm has been developed to obtain stable results at various survey conditions; it is achieved by controlling the spot image according to brightness parameters, dimensions of spots and their number. The algorithm is intended to be applied in measuring and control systems.

Key words: digital image processing, algorithm processing, measuring system, monitoring system.