

СИНТЕЗ ДВУСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТА В ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЕ

О.П. Кондратов, П.А. Кондратов,
В.Ф. Ткаченко

Национальный университет
«Львовская политехника».
г. Львов, ул. Ст. Бандеры, 12
E-mail: ndki@polynet.lviv.ua

В статье описан способ синтеза совмещённых двуспектральных изображений объекта дистанционного мониторинга, позволяющий в реальном времени значительно улучшить координатную привязку элементов с граничными значениями температуры их поверхности.

Введение. Тепловидение широко используется во многих областях человеческой деятельности, таких как медицина (диагностика раковых заболеваний и проблем кровообращения), химия, выявление дефектов в интегральной микроэлектронике и в печатных платах, неразрушающий контроль, аэрокартография горячих зон земной поверхности для выявления геологических аномалий, охранительные системы, военное дело и др. В последние десятилетия тепловидение сделало значительный шаг вперед в улучшении эксплуатационных характеристик приборов, включая их чувствительность и качество получаемых изображений объектов. Весомый вклад внесла цифровая обработка получаемой информации, которая дала возможность повысить пространственную разрешающую способность тепловых изображений и уменьшить их шумленность. До недавнего времени разработка систем цифровой обработки изображений, которые работают в реальном времени, была весьма проблематичной, в основном из-за недостаточной вычислительной мощности микропроцессоров и недостаточного быстродействия памяти. Прогресс вычислительной техники открыл новые горизонты для создания и удешевления систем цифровой обработки изображений, которые работают в реальном времени.

Важным средством улучшения информативных свойств теплового представления объекта является формирование совмещённых изображений, которые создаются при помощи наложения изображений, сформированных в разных зонах спектра излучения. Так, эффективным является наложение изображений, полученных в видимом (све-

товом) и инфракрасном диапазонах спектра. Из-за ряда причин, таких как тепловое растекание, маскировка и создание «ложных» контуров, тяжело различить, какому фрагменту объекта наблюдения отвечает тепловое пятно с граничной температурой. В то же время, видимое изображение объекта имеет хорошую пространственную разрешающую способность и контраст. Наложение этого изображения на тепловое даст оператору возможность значительно облегчить задачу определения степени аварийности объекта наблюдения. Такими двуспектральными изображениями могут быть:

– «фрагментарные», полученные путем объединения отдельных фрагментов, сформированных в разных зонах спектра, соответственно излучению исследуемого объекта;

– «совмещённые», которые являются комбинацией контуров изображения объекта в видимом диапазоне спектра и его псевдоцветового теплового изображения;

– «полупрозрачные», в которых одно из изображений является фоном для других, а их комбинация выполняется в соответствии с приоритетом, определенным (например, оператором) для каждого из них.

Использование контура видимого представления объекта является, по мнению авторов, особенно удобным, поскольку в этом случае менее проявляется эффект маскирования изображений. В тоже время, при наблюдении подвижных объектов возникает проблема формирования контурного изображения в реальном времени.

В начале обработки с целью лучшей адаптации к структуре и качеству начального изображения может быть применена операция линейного усиления-ограничения входного сигнала:

$$U_{out} = \begin{cases} U_{max} & \text{если } U_i \geq U_{max}, \\ \Pi(U_i) + U_0 & \text{если } U_{min} \leq U_i \leq U_{max}, \\ 0 & \text{если } U_i \leq U_{min} \end{cases}, \quad (1)$$

где U_{out} , U_{in} – соответственно, выходной и входной видеосигналы; U_{min} , U_{max} – соответственно, минимальное и максимальное значения напряжений, которые определяют динамический диапазон входного усилителя; Π – определенный оператор преобразования; U_0 – постоянная составляющая.

При этом оператор преобразования (Π) может быть как линейным, так и нелинейным (в частности, экспоненциальным).

После этого путем сравнения исходного сигнала с определенным порогом детектирования R может быть сформирован массив бинарного изображения $[B_{xy}]_b$:

$$[B_{xy}]_b = \begin{cases} 1, & \text{если } B_{xy} > R, \\ 0, & \text{если } B_{xy} < R, \end{cases} \quad B_{xy} = R \neq 0 \quad (2)$$

где B_{xy} – яркость элемента расписания изображения (пикселя) с координатами x, y .

Подобная процедура разрешает также определить пиксели, что отвечают контурам изображения $[B_{xy}]_e$:

$$[B_{xy}]_e = \begin{cases} 1, & \text{если } B_{xy} > R, \\ 0, & \text{если } B_{xy} \leq R. \end{cases} \quad (3)$$

Тем не менее, при $R = \text{const}$ этот метод, пригодный лишь для довольно равномерной контрастности изображения, не обеспечивает достаточной адаптации к его локальной структуре, поскольку наличие на исходном изображении фрагментов с широким диапазоном изменения контрастности приводит после выполнения процедур (2), (3) к исчезновению на образованном изображении малоконтрастных деталей. Поэтому более целесообразным является применение не постоянного, а динамического порога, который вычисляется как усредненное значение яркости определенной локальной окрестности:

$$R_{x_0, y_0} = \frac{k}{m \cdot n - 1} \cdot \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{x_i, y_j}^\beta - B_{x_0, y_0}^\beta \right) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x_i &\in [x_0 - (m-1)/2; x_0 + (m-1)/2], \\ y_i &\in [y_0 - (n-1)/2; y_0 + (n-1)/2], \end{aligned}$$

где k, β – весовые коэффициенты; m, n – количество пикселей окрестности по вертикали и горизонтали; B_{x_0, y_0} – значение яркости центрального пикселя окрестности.

Для улучшения качества обработки весовые коэффициенты подбирают экспериментально с соблюдением условий:

$$\begin{aligned} R_{x, y} &\in [B_{\max}; B_{\min}] \\ v &= 1 - B_{\min} / B_{\max}, \end{aligned} \quad (5)$$

где v – желательное значение контраста изображения.

С этой же целью могут быть подобраны оператор преобразования и размерность окрестности (по обыкновению наиболее оптимальными оказываются $\beta = 1$ и $m \cdot n = 3 \cdot 3$ или $5 \cdot 5$).

На сегодня известно большое количество алгоритмов выделения контуров [2]. Некоторые из них настолько сложны, что их тяжело использовать для задач в реальном времени. В связи с этим мы предлагаем следующий простой алгоритм гомоморфной обработки видимого изображения.

В первой фазе обработки первичного изображения исчисляется среднее значение яркости R в окрестности центрального пикселя (1). Во второй фазе формируется бинарное изображение в соответствии с правилом (2). В последней фазе выделяются пиксели, соответствующие контурам изображения объекта (3).

В зависимости от типа изображения и процесса адаптации к реальному изображению, к начальному массиву пикселей можно последовательно применить операции (2) и (3) или только операцию (3). Качество обработки может быть улучшено соответствующим подбором коэффициента k и оператора Π , а также применением окна с размерностью большей, чем 3×3 . Как средство выделения определенной ориентации контуров может также использоваться градиентная маска с весовым принципом вычисления значения R .

Мы предлагаем некоторые преобразования, которые уменьшают время, необходимое для получения бинарного и контурного изображений в соответствии с (1, 2, 3).

Первое – заключается в том, что значение R можно заменить на $R' = 8R/k$, а B_{x_0, y_0} – на $B'_{x_0, y_0} = 8B_{x_0, y_0}/k$. Тогда операции умножения и деления для выполнения обратного перехода и преобразования предварительно исчисляются для всех возможных значений градаций яркости и записываются в таблицу просмотра. Прямые вычисления заменяются операциями выборки по таблицам просмотра, которые будут требовать значительно меньших временных затрат.

Следующее предложение заключается в применении специального порядка выборки пикселей, который может быть назван “конвейерным” [3]. При этом вычисление значения яркости для $R_\Sigma = R + B_{x_0, y_0}$ происходит по схеме, которая иллюстрируется на рисунке 1.

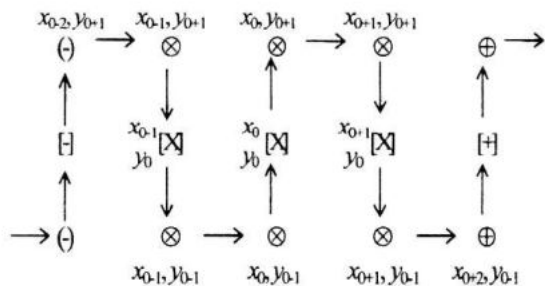


Рисунок 1 – Последовательность выборки данных “конвейерным” методом

На рисунке 1 используются такие пометки:

⊗ – пиксели x, y окна 3×3 ; $[x]$ – центральный пиксель x_0, y_0 ; $(-)$, $[-]$ – пиксели, значение которых нужно отнять от R_{Σ} ; $(+)$, $[+]$ – пиксели, значение которых нужно прибавить к R_{Σ} .

Чтобы обеспечить режим реального времени, частота выбора значений V_{xy} из буферной памяти для определения R_{Σ} должна быть втрое выше частоты выборки начального изображения. R_{Σ} исчисляется по принципу синхронного добавления яркости $V_{x_{0+2}, y_{0+1}}$ к R_{Σ} и отниманию яркости $V_{x_{0-2}, y_{0-1}}$ от R_{Σ} . Новое значение R_{Σ} для центральных пикселей x_{0+1}, y_0 будет сформировано через два такта. Схема реализации этого процесса иллюстрируется на рисунке 2.

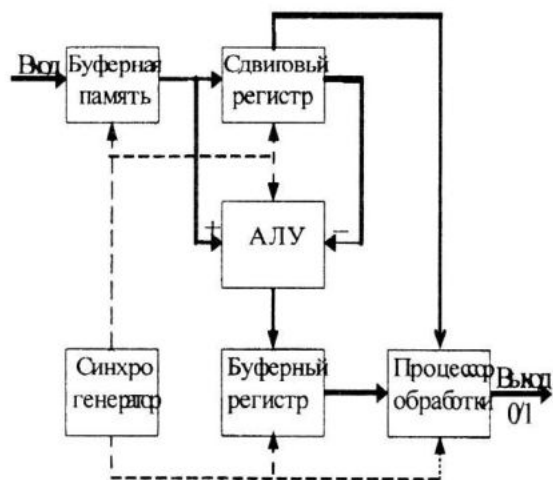


Рисунок 2 – Структурная схема обработки

Регистр сдвига содержит девять значений яркости от $V_{x_{0-1}, y_{0+1}}$ до $V_{x_{0+1}, y_{0-1}}$ окна преобразования и очередное значение V_{x_0, y_0} . Очередное значение $V_{x, y}$ поступает в регистр сдвига из буферной памяти. Таким образом, значения $V_{x_{0+2}, y_{0-1}}$ будут поступать на вход “+” арифметически-логического устройства, а значение $V_{x_{0-1}, y_{0+1}}$ – на вход “-”. За два такта новое значение R_{Σ} будет записано в буферный регистр. Это значение будет поступать на вход процессора обработки вместе с новым значением V_{x_{0+1}, y_0} , которое поступает из регистра сдвига. На выходе процессора обработки будет формироваться бинарная последовательность данных контурного изображения в соответствии с (1, 2, 3). Это изображение используется в дальнейшем для создания совмещённого изображения в реальном масштабе времени.

Заключение. Контурное воспроизведение видимой составляющей в совмещённом изображении дает возможность точно привязать температурную карту к элементам объекта наблюдения, что значительно повышает наглядность и информативность такого изображения.

Использование предложенной методики и структуры обработки разрешает формировать контурное изображение в реальном масштабе времени, которое существенно для наблюдений за подвижными тепловыми объектами. Данная структура процессора выделения контуров может также использоваться в других системах формирования контурных изображений, которые работают в реальном масштабе времени.

Литература

1. Gaussorguos G. "La thermographie infrarouge", Technique et documentation, Lavoisier, Paris, 1994.
2. Honzales R.C. and Woods R.E. "Digital image processing", Addison-Wesley, Reading, MA, 1993.
3. Боженко І., Гой В., Кондратов П. Спрощений метод виділення контурів для формування композитних зображень в тепловаченні / Вістник ДУ "Львівська політехніка" № 367. Радіоелектроніка і телекомунікації. – Львів: ДУ "ЛП", 1999. – С. 25 – 28.