

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ

УДК 535.317.2 : 681.34

В. И. КОЗИК, Е. С. НЕЖЕВЕНКО, Ю. А. ПОПОВ, О. И. ПОТАТУРКИН,
В. Г. СУТЯГИН
(Новосибирск)

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОПРОЦЕССОРА И СВЕТОДИОДНОГО КОРРЕЛЯТОРА

Оперативная обработка изображений, зарегистрированных на фотоснимках, выполняется в оптико-электронных системах (ОЭС) чаще всего в два этапа: предобработка (высокочастотная фильтрация, улучшение качества и т. п.) и собственно обработка (распознавание, спектральный и корреляционный анализ и т. д.). Причем для повышения гибкости и универсальности ОЭС ввод обрабатываемых изображений целесообразно осуществлять через телевизионный канал. В этом случае появляется возможность совмещения операций ввода и предобработки изображений. Поскольку одной из основных операций предобработки является свертка со знакопеременным импульсным откликом [1], для совмещения таких операций в ОЭС предложено:

заменить систему проецирования фотоснимка на мишень телевизионной приемной камеры оптическим коррелятором с управляемой от мини-ЭВМ светодиодной матрицей [2];

включить дополнительно в ОЭС цифровой видеопроцессор, выполняющий над изображениями нелинейные, знаковые и логические операции [3].

В работе рассматриваются принцип действия и структура системы, состоящей из светодиодного коррелятора и видеопроцессора, определяются ее основные параметры, а также экспериментально демонстрируются возможности такой системы на примере оперативного ввода и предобработки тестовых и реальных изображений с помощью наиболее типичных оконтуривающих линейных и нелинейных локальных операторов [4].

Рассмотрим принцип работы некогерентного коррелятора со светодиодной матрицей в качестве источника света. Его блок-схема представлена на рис. 1. Пусть светоизлучающая матрица имеет размерность $M \times M$ и шаг светодиодов Δs . Тогда в плоскости x, y распределение интенсивности света можно представить в виде

$$h(x, y) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M h_{ij} \delta(x - i\Delta s, y - j\Delta s), \quad (1)$$

где h_{ij} — интенсивность излучения светодиода с номером (i, j) . При этом предполагается, что размер светящейся площадки бесконечно мал. Если светодиодной матрицей освещается изображение $f(x, y)$, а считывание производится на расстоянии Δz от плоскости фокусировки изображения,

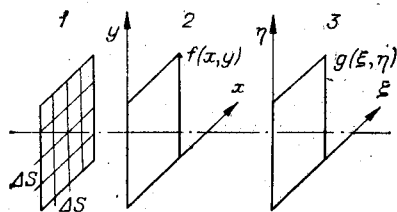


Рис. 1. Принципиальная схема коррелятора:

1 — плоскость матрицы светодиодов, 2 — плоскость изображения, 3 — плоскость считывания.

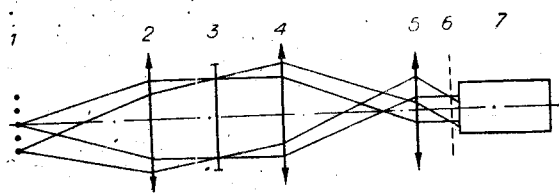


Рис. 2. Оптическая схема коррелятора.

то распределение интенсивности света в плоскости считывания пропорционально [2]

Однако рассмотренный коррелятор линеен по интенсивности, поэтому в нем возможна обработка функций только одного знака. В то же время большая часть алгоритмов предобработки требует выполнения операции свертки со знакопеременным импульсным откликом. Для выполнения этого требования представим

$$h(x, y) = h^+(x, y) + h^-(x, y),$$

тогда

$$g(\xi, h) = h^+(\xi, h) * f(\xi, h) - h^-(\xi, h) * f(\xi, h). \quad (3)$$

Таким образом, свертка изображения со знакопеременным импульсным откликом проводится в два этапа. Первоначально определяется положительная часть интеграла свертки, из которой затем вычитается его отрицательная часть. Эти операции целесообразно выполнять в цифровом виде, используя видеопроцессоры — устройства для запоминания и обработки изображения, работающие в телевизионном темпе. При этом появляются дополнительные возможности по обработке (например, проведение нелинейных операций над результатом свертки), существенно расширяющие функциональные возможности системы «оптический процессор + видеопроцессор».

Экспериментальный образец такой системы, созданный в ИАиЭ СО АН СССР, состоит из трех подсистем: оптический коррелятор; блок управления коррелятором, включающий ЭВМ Э-60; видеопроцессор.

Принцип работы оптического коррелятора описан выше, его оптическая схема представлена на рис. 2. Она включает светодиодную матрицу 1 размерностью 5×5 ИК-светодиодов, мощностью 10 мВт каждый при токе в 50 мА; коллимирующий объектив «Индустар-37» 2 ($f = 300$ мм); обрабатываемый снимок 3, установленный на устройстве позиционирования; проецирующий телескоп, состоящий из объектива «Юпитер 6-2» 4 ($f = 180$ мм) и «Юпитер 3» 5 ($f = 50$ мм); считывающую телевизионную камеру КТП-63 7. При этом плоскость 6 проективно сопряжена с плоскостью снимка 3. Оптическая система обеспечивает проецирование на видикон без виньетирования 25 смещенных друг относительно друга изображений телевизионного формата, считанных с фрагмента снимка размером 30×40 мм². За счет перемещения считывающей камеры вдоль оптической оси возможно изменение масштаба импульсного отклика относительно обрабатываемого изображения.

Управление светодиодной матрицей осуществляется 25 коммутирующими ключами, ток в которых отрегулирован таким образом, чтобы интенсивности излучения светодиодов были равными. Ключи управляются двумя 16-разрядными регистрами данных, программируемыми через

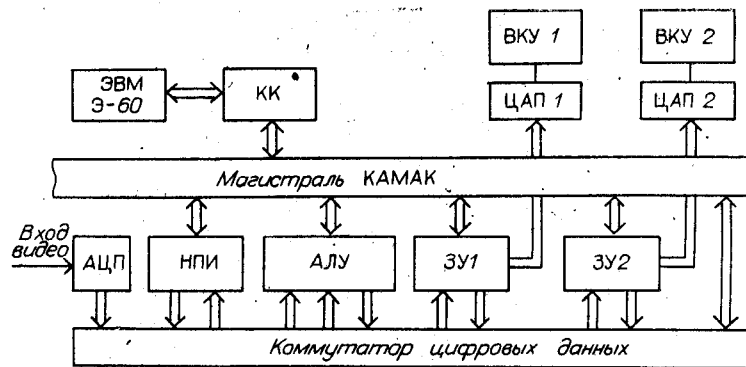


Рис. 3. Блок-схема видеопроцессора.

крейт-контроллер ЭВМ Э-60. Вес элементов ядра преобразования определяется нормированным временем излучения светодиодов. Так, светодиоды с максимальным весом излучают непрерывно за время считывания кадра, а остальные высвечиваются по времени пропорционально своим весам. Поэтому наибольшие световые потоки соответствуют импульсным откликам, в каждом из которых ненулевые значения равны между собой. Время выполнения команды пересылки слова в Э-60 не превышает 10 мкс, так что ядро с n градациями «высвечивается» не более чем на $2n \cdot 10$ мкс. За время сканирования кадра, равное времени накопления на видиконе, высвечивание ядра происходит многократно (для 20 градаций 100 раз), так что несовпадение конца кадра и конца высвечивания ядра не приводит к существенной погрешности задания последнего (ошибка составляет менее 1%).

Блок-схема видеопроцессора представлена на рис. 3. Он состоит из АЦП, оцифровывающего видеосигнал; блока нелинейного преобразования (НПИ) табличного типа; арифметико-логического устройства (АЛУ); первого блока памяти на кадр (ЗУ1); второго блока памяти на кадр (ЗУ2); двух ЦАП, с помощью которых изображения, записанные в блоки памяти, визуализируются на видеоконтрольных устройствах (ВКУ). Видеопроцессор выполнен в стандарте КАМАК. Управление осуществляется от ЭВМ Э-60 через крейт-контроллер (КК). Для оперативного обмена данными между модулями используется цифровой коммутатор, производящий байтовую передачу данных с частотой 40 МГц.

В целом система функционирует следующим образом. Накопленный за время сканирования кадра на видиконе результат свертки обрабатываемого изображения с положительной частью первого импульсного отклика поступает в видеопроцессор, где оцифровывается и записывается в первый блок памяти. Затем выполняется операция свертки изображения с отрицательной частью первого импульсного отклика, после чего в АЛУ согласно (3) определяется разность, которая подвергается в НПИ требуемому нелинейному преобразованию и записывается во второй блок памяти. Аналогичным образом происходит свертка входного изображения со вторым импульсным откликом с записью результирующего изображения в первый блок памяти и последующим алгебраическим суммированием содержимого обоих блоков памяти в АЛУ. Кроме того, в видеопроцессоре можно осуществлять циклический сдвиг изображения по градациям, а также геометрические сдвиги на один элемент. Такая структура видеопроцессора позволяет реализовать большинство линейных и нелинейных операторов обработки изображений. Отметим, что любая из указанных операций выполняется за время сканирования телевизионного кадра.

Экспериментальное исследование системы проводилось путем обработки с помощью линейных и нелинейных операторов тестовых изображений и реальных изображений местности. В качестве линейных окон-

<i>a</i>					<i>б</i>				
1	2	3	2	1	-1	2	3	2	-1
2	-4	-8	-4	2	2	-3	-6	-3	2
3	-8	16	-8	3	3	-6	12	-6	3
2	-4	-8	-4	2	2	-3	-6	-3	2
1	2	3	2	1	-1	2	3	2	-1
<i>в</i>					<i>г</i>				
1	-2	-2	-2	1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	1	2	1	-2	-1	-2	4	-2	-1
-2	2	4	2	-2	-1	4	8	4	-1
-2	1	2	1	-2	-1	-2	4	-2	-1
1	-2	-2	-2	1	-1	-1	-1	-1	-1
<i>д</i>					<i>е</i>				
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1
-1	1	2	1	-1	0	0	0	0	0
-1	2	4	2	-1	0	0	4	0	0
-1	1	2	1	-1	0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1

Рис. 4. Импульсные отклики оператора Лапласа различных модификаций.

турирующих операторов были выбраны различные модификации оператора Лапласа размерностью 5×5 с нулевым средним значением. Наиболее характерные из них, отличающиеся крутизной и числом переходов импульсного отклика через нуль, показаны на рис. 4, *a—e*. Следует отметить, что все они приведены без нормировочных множителей, которые определяются из условия равенства между собой максимальных значений различных импульсных откликов. Тестовые изображения представляли собой матрицу силуэтов геометрических фигур.

Лучшие результаты по оконтуриванию тестовых силуэтных изображений получены с помощью импульсного отклика, имеющего однократный переход через нуль и узкий центральный пик (рис. 4, *г*). Однако достичь такого же качества при линейной обработке реальных изображений местности не удалось в первую очередь из-за их невысокого контраста, обусловившего малую интенсивность полученных контуров. Повышение же интенсивности при фиксированном уровне шумов видикока приводит к увеличению шумов результирующего изображения. Избежать этого оказалось возможным путем применения нелинейных и пороговых преобразований.

В качестве нелинейных оконтуривающих операторов выбирались две модификации оператора Собела [4]. Положительные и отрицательные части импульсных откликов $h_1^+(x, y)$, $h_1^-(x, y)$, $h_2^+(x, y)$, $h_2^-(x, y)$ без нормировочных множителей приведены на рис. 5, *a—г*, 6, *a—г* соответствен-

<i>a</i>					<i>б</i>					<i>в</i>					<i>г</i>				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1

Рис. 5. Импульсные отклики оператора Собела 1-й модификации.

<i>a</i>					<i>б</i>					<i>в</i>					<i>г</i>				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	2	4	2	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-2	-1

Рис. 6. Импульсные отклики оператора Собела 2-й модификации.

Рис. 7. Результаты обработки тестовых силуэтных изображений оператором Собела 1-й модификации.

но для обеих модификаций. Обработка проводилась двумя импульсными откликами с промежуточными нелинейными операциями согласно

$$g(\xi, h) = a|g_1(\xi, h)|^n + a|g_2(\xi, h)|^n, \quad (4)$$

где

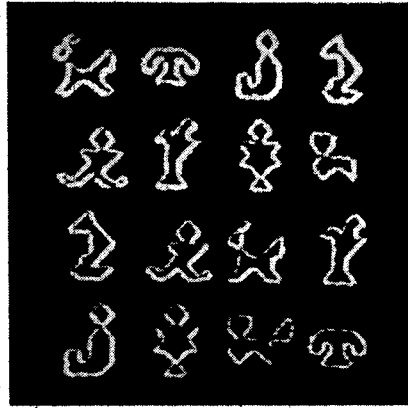
$$g_i(\xi, \eta) = f(\xi, \eta) * \eta_i^+(\xi, \eta) - f(\xi, \eta) * \eta_i^-(\xi, \eta);$$

$$i = 1, 2; \quad n = 1, 2, 4; \quad a = 4, 8, 16.$$

Показатель степени n и коэффициент a определяют характер нелинейного преобразования полученных интегралов свертки. В классическом операторе Собела $n = 2$. Другие значения использовались с целью выяснения включения влияния характера нелинейного преобразования на качество обработанного изображения. Эксперименты показали, что при $n = 1$ результирующее изображение имеет невысокий контраст независимо от величины a , а при $n = 4$ существенно возрастает шум. Лучший вариант обработки (с точки зрения визуального восприятия) оказался при $n = 2$, $a = 8$. На рис. 7 приведены результаты обработки тестовых силуэтных изображений оператором, представленным на рис. 5, с указанными выше параметрами.

С целью уменьшения шумов и увеличения контраста проводилась дополнительная пороговая обработка изображений, т. е. значения интенсивности ниже заданного уровня принимались равными нулю, а выше — максимальному для 8-разрядных ЗУ значению — 255. При этом различные пороги существенно влияли на уровень шума. Это видно из рис. 8, б, в, где приведены результаты обработки реального изображения местности (рис. 8, а) соответственно со значениями порога 0 и 40 для интегралов свертки, лежащих в диапазоне от 0 до 100. В этом случае использовался тот же оператор, что и при обработке тестовых изображений. Результаты обработки оператором, представленным на рис. 5, оказались достаточно хорошими. Тем не менее применение такого оператора затруднено из-за невысоких энергетических характеристик, поскольку модуляция импульсного отклика, как отмечалось выше, приводит к уменьшению времени свечения соответствующих светодиодов за время телевизионного кадра.

Таким образом, в работе рассмотрен принцип действия предложенной системы, состоящей из светодиодного коррелятора и цифрового видеопроцессора, определены ее основные параметры (быстродействие, размерность обрабатываемого изображения и импульсного отклика), экспериментально продемонстрированы возможности на примере одновременного оперативного ввода и оконтуривания тестовых изображений и реальных изображений местности. Показано, что время обработки по сравнению с аналогичным временем в электронных процессорах уменьшается и не зависит от размерности импульсного отклика. Поэтому выигрыш по производительности в такой гибридной системе возрастает с увеличением размерности ядра, которая может достигать значений 20×20 элементов для размерности обрабатываемого изображения 512×512 элементов. Это позволяет не только выполнять предобработку малоразмерными оконтуривающими операторами, но и проводить текстурный анализ или устранение искажений типа смаза, дефокусировки и т. п. методами десвертки. По сравнению же с оптическими процессорами, предназначенными для оконтуривания изображений [5—7], в рассмотренной системе нет выигрыша по производительности, однако она допускает быструю перестройку



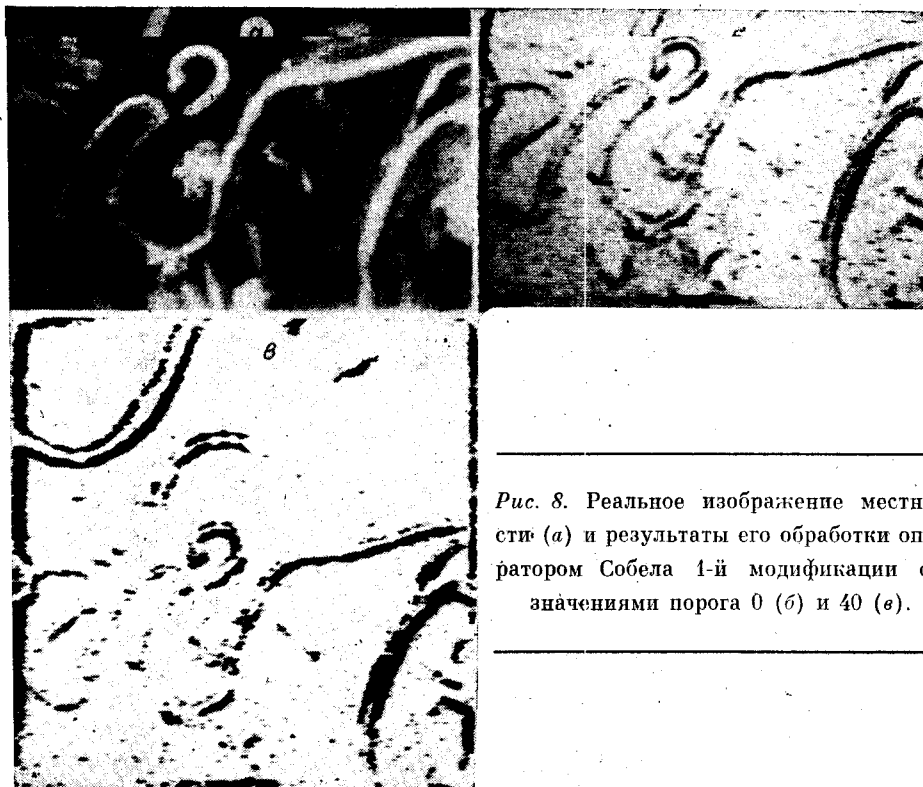


Рис. 8. Реальное изображение местности (а) и результаты его обработки оператором Собела 1-й модификации со значениями порога 0 (б) и 40 (в).

параметров оператора и дает возможность замены различных операторов предобработки в диалоговом режиме, т. е. сочетает преимущества цифровой электронной (универсальность) и оптической (производительность) обработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен.— М.: Мир, 1976.
2. Беломестных В. А. и др. Цифровая телевизионная видеосистема.— Автометрия, 1984, № 5.
3. Литвинцев В. И., Нежевенко Е. С. Обработка изображений в некогерентном корреляторе с матричным излучателем.— В кн.: Опτικο-электронные методы обработки изображений. Л.: Наука, 1982.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982, т. 2.
5. Козлов О. А., Нежевенко Е. С., Потатуркин О. И. Распознавание изображений в когерентно-оптических системах с применением контурных эталонов.— Автометрия, 1976, № 6.
6. Нежевенко Е. С., Потатуркин О. И. Реализация дисперсионного алгоритма распознавания средствами когерентной оптики.— Автометрия, 1979, № 5.
7. Casasent D., Chen J. Nonlinear local image preprocessing using coherent optical techniques.— Appl. Opt., 1983, N 6.

Поступила в редакцию 15 августа 1984 г.