

Рис. 4

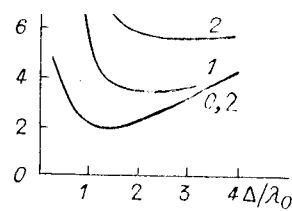


Рис. 5

**Квазиоптимальная величина дискрета.** Использование результатов по оптимальной дискретизации сопряжено с трудностью получения информации о конкретных значениях радиусов корреляции шума  $\tau_0$ . Однако на основе анализа функции (6) при  $\tau_0/\lambda_0 < 0,2$  и  $\tau_0/\lambda_0 > 5$  и рис. 4 можно сделать вывод, что при всех  $\tau_0/\lambda_0 > 0,2$  значение  $x_1$  в точке  $\Delta = \lambda_0$  мало отличается от минимального. В случае  $\tau_0 \ll \lambda_0$  функция  $x_1$  достигает своего наименьшего значения  $x_1 = 1$ . Если при этом выбрать  $\Delta = \lambda_0$ , можно по  $x_1$  проиграть вдвое. В данной ситуации целесообразна предварительная расфокусировка сравниваемых изображений фильтром нижних частот.

На основе данных работы [2] можно показать, что при использовании расфокусирующего окна со стороной  $\lambda_0/2$  и прямоугольной весовой функцией новое значение отношения радиусов корреляции шума и изображения лежит в области  $\tau_0/\lambda_0 > 0,2$  и, следовательно, допускает выбор  $\Delta = \lambda_0$ , а новое отношение шум/сигнал  $|H/\Psi$  может по сравнению с начальным уменьшиться в  $\sim 0,25 \lambda_0/\tau_0$  раз (при начальном  $\tau_0/\lambda_0 \ll 1$ ).

При минимизации функции  $x_1 x_2$  в качестве квазиоптимальной величины дискрета можно принять  $\Delta = 2\lambda_0$ . Это следует из рис. 5.

Интересно отметить, что в работах [3, 4] вывод о целесообразности сглаживания процессов перед дискретизацией получен из других соображений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин В. В., Буймов А. Г. Статистический анализ ошибок совмещения изображений по методу наименьших квадратов в условиях окрашенного шума // Автометрия.— 1985.— № 3.
2. Буймов А. Г., Буймова Н. А. Статистика расфокусированных изображений // КЭС управления.— Томск: Изд-во ТГУ, 1981.
3. Красильников Н. И. Статистическая теория передачи изображений.— М.: Связь, 1976.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов.— М.: Мир, 1978.

Поступило в редакцию 24 октября 1984 г.

УДК 681.301

А. П. МАКАРОВСКИЙ, А. С. ОСТРОВСКИЙ, В. П. ПАСЛЕН,  
В. С. СЛАВГОРОДСКИЙ  
(Киев)

#### ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТОВ

Одна из важнейших задач современной робототехники — создание эффективных систем технического зрения. При ее решении одинаково важными являются как разработка технических средств, так и поиск перспективных методов обработки информации. В целом систему технического зрения роботов можно рассматривать как автоматизированное устройство распознавания и классификации изображений, удовлетворяющее ряду специфических требований, определяемых характером производственного процесса. Естественно, что для этой цели используется цифровая вычислительная техника и в первую очередь микропроцессоры [1]. Однако обработка изображений с помощью ЭВМ приводит к необходимости анализа больших

информационных массивов за сравнительно короткое время. Таким образом, к ЭВМ, входящей в комплекс, предъявляются порой довольно жесткие требования как по быстродействию, так и по объему оперативной памяти. Вместе с тем информационную загрузку цифровой части комплекса можно значительно уменьшить, если применить для предварительной обработки изображений аналоговую вычислительную технику, быстродействие которой значительно выше, чем у цифровой техники.

Особый интерес в этом смысле представляет использование методов когерентной оптической обработки информации [2]. Оптический процессор способен с очень высокой скоростью осуществлять операцию преобразования Фурье, выполнять на ее основе ряд различных ортогональных преобразований координат, вычислять свертку и корреляцию функций, а также производить ряд других математических операций.

Вместе с тем точность выполнения математических операций когерентно-оптическими процессорами невысока и составляет, например, для преобразования Фурье величины порядка единиц, а иногда и более десятка процентов [2]. Однако точность такой величины оказывается вполне приемлемой в задаче обнаружения и классификации изображений известной формы.

В настоящей статье предлагается вести обработку изображений в гибридной оптико-электронной системе, представляющей собой когерентный оптический процессор, сопряженный с микроЭВМ «Электроника 60». Эта система позволяет на два порядка сократить время обработки изображений  $128 \times 128$  элементов по сравнению с чисто цифровой обработкой на микроЭВМ «Электроника 60».

Рассмотрим последовательно основные функциональные узлы системы.

Оптический процессор представляет собой голографический коррелятор, в котором фильтры регистрируются по схеме записи обобщенных Фурье-голограмм [3]. Эта схема выбрана на основании того, что отклик фильтра имеет вполне однозначный вид и располагается в строго определенном месте выходной плоскости оптического коррелятора.

Ввод изображения, регистрируемого в выходной плоскости оптического коррелятора, в ЭВМ «Электроника 60» осуществляется с помощью ПЗС-камеры [4], подключенной к ЭВМ через быстродействующий аналого-цифровой преобразователь. Предпочтение ПЗС-камере как средству регистрации оптической информации отдано из-за высокого (до 60 дБ) динамического диапазона и наличия жесткого раstra [4].

Устройство ввода изображений в вычислительную машину основано на стробоскопическом принципе, позволяющем произвольно менять скорость поступления информации в порт ввода микроЭВМ (интерфейс И2). В указанном конкретном случае за время сброса строки фотодатчика на ПЗС (128 мкс) поступал только один элемент. Следовательно, в течение первого с начала ввода кадра вводился столбец из первых по строкам элементов изображения, за время второго кадра — столбец из вторых по строкам элементов изображения и т. д. Общее время ввода изображения  $128 \times 128$  элементов 2 с.

Вопрос о стабильности устройства ввода разрешился естественным образом благодаря использованию в качестве фотодатчика прибора с зарядовой связью (ФПЗС), обладающего жесткой геометрической привязкой элемента вводимого изображения. Точность устройства ввода ограничивалась аналого-цифровым преобразователем 1107 ПВ1А и составила 64 уровня квантования яркости элемента изображения.

Шумы измерений в системе ввода изображений определялись качеством ФПЗС. В нашем случае матрица ФПЗС 1200 ЦМ1 обладала четырьмя дефектами по полю, которые компенсировались при вводе программным путем.

Для обработки информации, введенной в микроЭВМ, в настоящее время разработан набор алгоритмов и программ, составляющих математическое обеспечение комплекса. Алгоритмы и программы подразделяются на две группы. К первой относятся те, которые обеспечивают ввод информации с ПЗС-камеры, размещение этой информации в памяти микроЭВМ и управление выводом данных. Эти программы написаны на языке Ассемблер. Вторая группа программ служит для непосредственной обработки и классификации изображений. Их отладка происходила на ЭВМ СМ-3, а затем скомпилированный модуль вводился в микроЭВМ «Электроника 60».

На примере решения задачи выделения заданных объектов из представленной на сцене группы проиллюстрируем работу гибридного комплекса. Пусть из имеющейся совокупности объектов требуется выбрать треугольники  $S(x, y)$  и указать их координаты. Для решения этой задачи регистрировался согласованный голографический фильтр по методу, описанному в [3]. В качестве опорного объекта  $a(x, y)$  было выбрано изображение «звездочки». Объект и отклик фильтра на объект  $S(x, y)$  показаны на рис. 1, а, б. Транспаранты с набором объектов и поле откликов представлены на рис. 2, а, б, 3, а, б. Видно, что регистрируются хорошо отличимые отклики в форме «звездочек», причем их положение связано с положением искомого объекта на представленной сцене.

После ввода поля откликов (изображение размерностью  $128 \times 128$  отсчетов, 64 уровня квантования) на выходе коррелятора в ЭВМ происходит процесс идентификации распознаваемых объектов. Вначале определяются координаты точек, интенсивность которых превышает некоторое пороговое значение. Затем для этих точек проводится сравнение области  $16 \times 16$  отсчетов с эталонным объектом — «звездочкой». Если на основании анализа делается вывод о том, что данный объект совпадает с эталонным, по координатам максимума отклика пересчитываются координаты реального объекта на сцене и фиксируются в памяти ЭВМ. После перебора все-

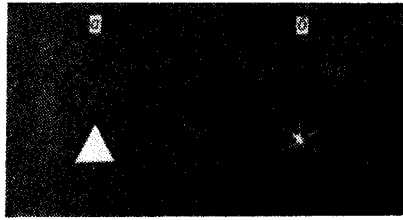


Рис. 1

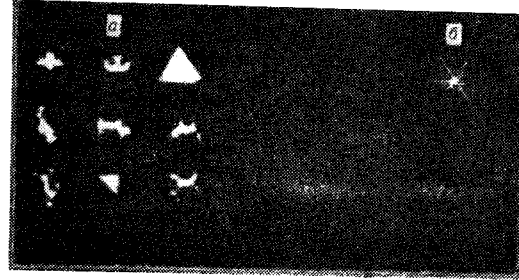


Рис. 2

го набора откликов в ЭВМ запоминается набор координат опознаваемых объектов. Как показал опыт эксплуатации гибридного комплекса, надежность распознавания определяется в первую очередь правильным выбором порога корреляционного максимума и алгоритмом сравнения отклика с эталоном. Выбор порога в нашем случае осуществлялся экспериментально, а для определения степени подобия отклика и эталона использовался следующий алгоритм. Пусть, как и раньше,  $a(x, y)$  — функция эталонного объекта;  $I(x, y)$  — регистрируемый отклик. Причем  $I(x, y)$  нормируется по площади, что позволяет затем сравнивать нормированный отклик  $I'(x, y)$  с эталоном  $a(x, y)$ .

В качестве критерия подобия отклика и эталона удобно использовать критерий среднеквадратичной погрешности:

$$\Delta = \frac{\int \int |I'(x, y) - a(x, y)|^2 dx dy}{\int \int |a(x, y)|^2 dx dy}.$$

На основании экспериментальных данных при  $\Delta \leq 0,35$  с высокой степенью достоверности можно считать, что исследуемый отклик характеризует искомый объект.

Нами было обработано по предложенному методу пять изображений сцен с общим числом объектов, равным 48 (два из них показаны на рис. 2 и 3). Вероятность правильного опознавания составила 98%.

Проведенные исследования показали перспективность применения гибридных оптико-электронных комплексов в системах технического зрения роботов. Следует отметить, что конкурентоспособность подобных комплексов значительно возрастает в процессе развития и совершенствования элементной базы оптических систем, а именно появления компактных высокостабильных лазеров, новых реверсивных средств регистрации голографических фильтров. Но уже из анализа полученных результатов видно, что описанный подход обладает значительными перспективами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охочимский Д. Е., Понов Е. П. Научные проблемы робототехники.— М.: Наука, 1980.
2. Василецко Г. И. Голографическое опознавание образов.— М.: Сов. радио, 1977.
3. Строук Дж. Введение в когерентную оптику и голографию.— М.: Мир, 1967.
4. Пресс Ф. П. Формирование видеосигнала на приборах с зарядовой связью.— М.: Радио и связь, 1981.

Поступило в редакцию 17 сентября 1985 г.