

предложенная методика, с одной стороны, дисциплинирует экспериментатора-нейрофизиолога и биофизика, требуя от него четких ответов на вопросы программы, а с другой — облегчает его труд, освобождая от массы рутинных операций ради более творческих и ответственных решений во время опыта.

Наш опыт организации экспериментов показывает, что большинство исследователей быстро преодолевает психологический барьер и уже не мыслит исследований без ЭВМ. Нет сомнений, что развитие автоматизированного сенсорного тестирования — не просто желательное, а необходимое условие успешного продвижения в понимании нейронной организации опознавания сенсорных образов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Heggelund P. Receptive field organization of simple cells in cat striate cortex.— *Exp. Brain Res.*, 1981, v. 42, p. 89.
2. Sasaki H., Bear D. M., Ervin F. R. Quantitative characterization of unit response in the visual system.— *Exp. Brain Res.*, 1971, v. 13, N 3, p. 239.
3. Spinelli D. N., Hirsch H. V. B., Phelps R. W., Metzler J. Visual experience as a determinant of the response characteristics of cortical receptive fields in cats.— *Exp. Brain Res.*, 1972, v. 15, N 3, p. 289.
4. Шевелев И. А., Марченко В. Г., Вальцев В. Б. Универсальный фотостимулятор для исследования зрительной системы человека и животных.— В кн.: Методическое и техническое обеспечение нейрофизиологического эксперимента. М.: Наука, 1976.
5. Шараев Г. А. Автоматическое выделение последовательных фаз физиологических реакций.— В кн.: Методика и техника экспериментальных исследований операторской деятельности. М.: Наука, 1982.
6. Шевелев И. А., Шараев Г. А., Волгушев М. А. и др. Динамика рецептивных полей нейронов зрительной коры и наружного колленчатого тела.— *Нейрофизиология*, 1982, т. 14, № 6, с. 622.
7. Шевелев И. А., Волгушев М. А., Шараев Г. А. Характеристики динамической перестройки рецептивных полей нейронов коры больших полушарий и наружного колленчатого тела кошки при изменении параметров световой стимуляции.— *Нейрофизиология*, 1983, т. 15, № 14, с. 347.
8. Шевелев И. А., Шараев Г. А. Сканирование диапазона ориентаций нейронами зрительной коры кошки.— *Нейрофизиология*, 1981, т. 13, № 5, с. 451.
9. Шевелев И. А., Шараев Г. А. Динамика ориентационной настройки нейронов зрительной коры кошки.— *Нейрофизиология*, 1981, т. 13, № 5, с. 451.
10. Волгушев М. А., Шевелев И. А., Дец К., Шараев Г. А., Вердеревская Н. Н. Различия в динамике зрительного рецептивного поля и его зоны суммации у кошек.— *Нейрофизиология*, 1983, т. 15, № 5, с. 466.

*Поступило в редакцию 12 марта 1984 г.*

УДК 612.014.421.8 : 621.398

Л. ГОМУТА, И. КРЕКУЛЕ, З. ТОМОРИ  
(Братислава, Кошице, Прага, ЧССР)

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

**Введение.** При использовании микроЭВМ для обработки изображений, например, для вычисления геометрических параметров объектов [1], их числа, для автоматического слежения за подвижными объектами (животными в ходе опыта [2]) необходима предварительная обработка изобразительной информации (ИИ). В статье рассмотрены подходы к сжатию ИИ и приведены примеры, описывающие слежение за подвижными объектами при помощи микроЭВМ «Электроника 60» и вычисление площади объектов, гистограмм их оптической плотности при помощи персональной микроЭВМ типа ПМД-85 («Тесла», ЧССР), а также показаны возможности автономной видеопамяти, разработанной в Институте физиологии АН ЧССР.

**Системы ввода ИИ в ЭВМ.** Для ввода ИИ используются три типовых подхода, отличающихся быстродействием, сложностью реализации и уровнем сжатия ИИ: а) ввод кадра по столбцам; б) ввод кадра ИИ, сжатого на 1 бит/элемент в реальном времени; в) ввод ИИ, сжатой по строкам или кадрам.

Ввод ИИ по столбцам заключается в том, что из каждого кадра вводится один столбец элементов матрицы ИИ. Этим способом нельзя пользоваться для обработки нестационарной сцены из-за низкого быстродействия. Технически это решается при

помощи цепи временной задержки, запускаемой началом каждой строки. С каждым последующим кадром задержка увеличивается, так что в течение 256 последовательных кадров можно ввести в ЭВМ матрицу ИИ, состоящую из  $256 \times 256$  элементов [3].

Самой простой предварительной обработкой является сжатие — сегментация ИИ по амплитуде видеосигнала на ширину 1 бит/элемент. Это обеспечивается сравнением видеосигнала с порогом. Сжатая ИИ кадра записывается в реальном времени в память ЭВМ, работающую одновременно как буферная память графического дисплея. Описанная система сохраняет информацию о геометрии объектов.

Высший уровень сжатия используется в более специфических задачах обработки ИИ, например при автоматическом слежении за подвижными объектами или при вычислении площади объектов, когда из целого кадра ИИ в ЭВМ вводятся только координаты объекта или центра пересечения каждой строки с объектом. Ниже описываются две таких системы.

**Специальные системы микроЭВМ для обработки ИИ.** Если объект обладает хорошим контрастом по сравнению с фоном, то его можно выделить по оптической плотности. При этом необходимо учитывать нелинейное искажение видеосигнала (шейдинг) [4], которое следует компенсировать при низкой контрастности объекта. Компенсировать искажение можно неравномерным освещением или генерацией специального сигнала, подаваемого на компаратор. Компенсация нелинейного искажения позволяет в 4 раза повысить разрешение (до 128 уровней видеосигнала).

Количество элементов матрицы ИИ, изображающих объект, соответствует площади объектов сцены. Эта величина определяется счетчиком, на вход которого поступают импульсы только в то время, когда величина видеосигнала соответствует объекту.

При автоматическом слежении за объектом находится его координата  $X$  в каждой строке как центр ее пересечения с объектом. Это обеспечивается следующим способом: с начала строки в счетчик поступают импульсы с частотой, соответствующей частоте элементов в строке. Когда объект обнаружен, частоту импульсов уменьшают в 2 раза, а после обнаружения другой границы объекта импульсы прекращаются. Таким образом, в конце строки содержимое счетчика соответствует координате  $X$  середины пересечения объекта с этой строкой или числу всех элементов строки, если объекта в этой строке нет. Величина второй координаты  $Y$  определяется как порядковый номер строки от начала кадра. Таким же образом можно вычислить центр кривой — функции времени, записанной на бумаге и вводимой в ЭВМ при помощи телевизионной камеры [5].

**Примеры систем микроЭВМ для обработки ИИ.** В Институте физиологии ЧСАН для экспериментального изучения пространственной памяти животных и влияния хирургических и фармакологических воздействий создана система автоматического слежения за объектом. Опыт проводится в так называемом бассейне Морриса [6] и заключается в том, что крыса заранее изучает местонахождение острова в бассейне, заполненном непрозрачной жидкостью (например, молоком). Остров находится под поверхностью жидкости, так что крыса не может его видеть. В опыте крыса стремится обнаружить остров максимально быстро, чтобы сократить время плавания. Система следит за крысой и вычисляет параметры ее траектории: длину, расстояние от центра острова, время поиска и т. д.

Основа системы — микроЭВМ типа LSI-11 или «Электроника 60» и специально разработанное устройство ввода (УВ) видеосигнала телевизионной камеры ФК-500 (РФГ, Берлин, ГДР). Схема УВ (рис. 1) состоит из дискриминатора импульсов синхронизации (Д), компаратора (К), часов (Ч), счетчика (Сч) (8 бит), выходного регистра (В) (8 бит) и логики (Л), которая управляет частотой импульсов и флагами в соответствии с наличием импульсов компаратора и счетчика. В начале каждой строки содержимое счетчика переносится в выходной регистр. Оно соответствует или

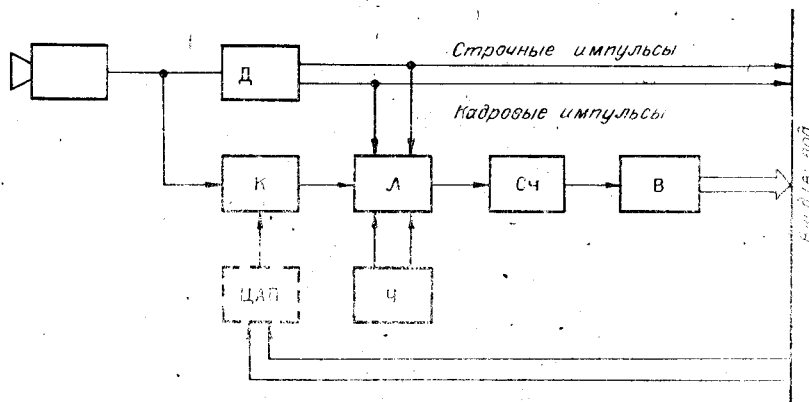


Рис. 1

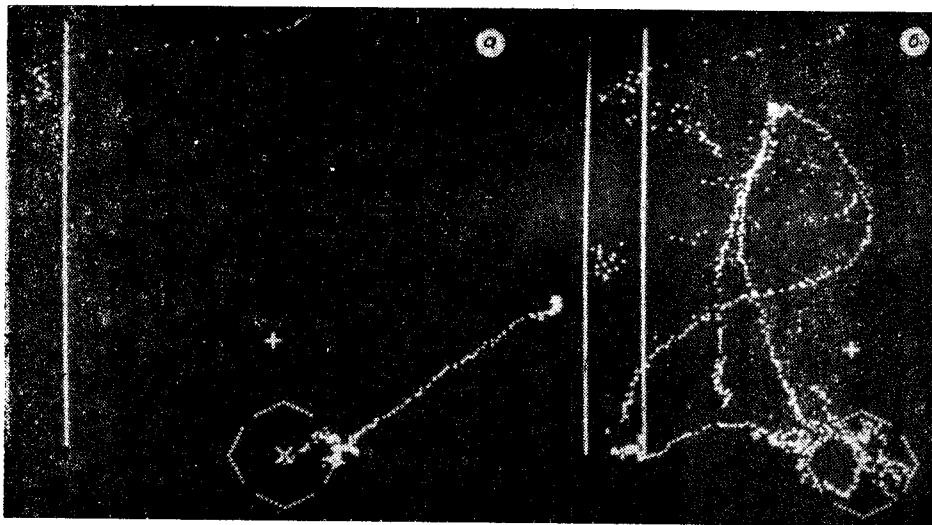


Рис. 2

середине пересечения первого объекта со строкой, или величине 225, если пересечение не обнаружено. Основная программа слежения работает так, что в четных полукадрах ИИ вводится в микроЭВМ, а в четных — обрабатывается.

В течение эксперимента траектория крысы изображается на экране графического дисплея ( $256 \times 256$ ) вместе с графиком расстояния от крысы до центра острова. В графике траектории крестиком показан центр бассейна, восьмиугольником — заданное критическое расстояние до центра острова, которое используется для усовершенствования опыта. Критическому расстоянию соответствует интервал между вертикальными линиями — расстояние от острова (рис. 2). Программа автоматически закончит опыт, если крыса не обнаружит остров в заданном промежутке времени (например, 60 с). После опыта на телетайп выводятся его параметры, а на самописец — график расстояния. Для иллюстрации на рис. 2 приведены фотографии экрана дисплея после удачного (а) и неудачного (б) поиска. УВ подключено к шине микроЭВМ при помощи универсального параллельного интерфейса.

В биофизической лаборатории Института экспериментальной физики САН применяется подобная описанной выше система анализа изображений с применением персональной микроЭВМ типа ПМД-85 («Тесла», ЧССР). В ПМД-85 имеется графический дисплей  $288 \times 256$  элементов и возможность программирования на языках высокого уровня. 12 из 48 кбайт памяти RAM используется в качестве видеопамати для сохранения данных, которые изображаются на дисплее (телевизионный присоединитель или монитор). Для ввода ИИ в микроЭВМ применяется параллельный порт машины (МНВ 8255).

В настоящее время с помощью системы можно вычислять суммарную площадь объектов и гистограмму распределения оптической плотности, что применяется прежде всего для анализа микроскопических объектов. Поскольку оптический микроскоп — очень распространенное устройство в биологических лабораториях и практической медицине, анализ микроскопических объектов на основе дешевых 8-разрядных микроЭВМ имеет большое значение, хотя с ними нельзя исследовать сцены с малым контрастом или более сложные неомогенные сцены.

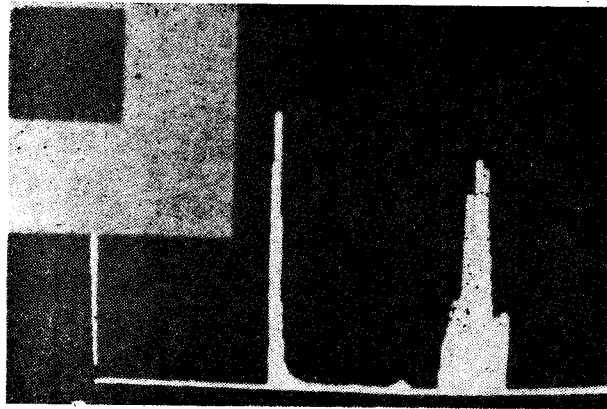


Рис. 3.

Площадь очень часто используется в качестве параметра, характеризующего объект и его изменения под влиянием внешних факторов. Получить суммарную площадь объектов сцены из видеосигнала просто, но эта величина зависит от выбора порога компаратора. Поэтому необходимо сначала проанализировать контрастность сцены (при помощи гистограммы) распределения величин видеосигнала и в ряде случаев автоматизировать выбор

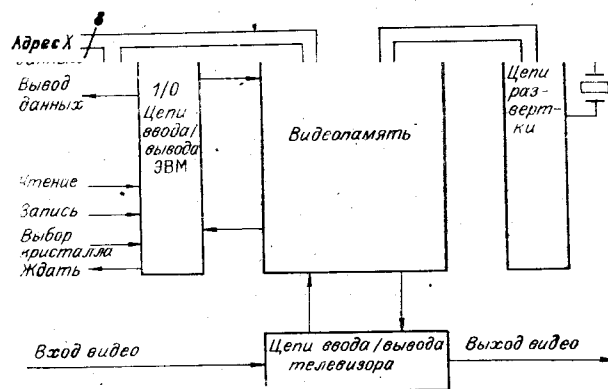


Рис. 4

порога. В дальнейшем оператор может оптимизировать автоматически подобранный порог путем визуального сравнения входного кадра, изображенного на одном мониторе, с бинарным образом после компарации на втором мониторе. Во многих случаях интерес представляет относительная величина площади (в сравнении с каким-то эталонным образом) независимо от выбора порога.

Гистограмма показывает количество элементов матрицы, принадлежащих отдельным диапазонам оптической плотности. В случае контрастного черного объекта на белом фоне гистограмма содержит два экстремума, один из которых соответствует объекту, второй — фону (рис. 3). Выбор порога компарации осуществляется по гистограмме так, что в качестве порога используется величина оптической плотности, соответствующая середине интервала между двумя максимумами. Существует множество специальных алгоритмов для оптимизации решения этой задачи [7].

Оптимизация выбора порога представляет собой только одно из многих применений гистограммы, хотя и самое распространенное. По гистограмме можно также судить о фокусировке оптической системы, применять ее при анализе текстуры, классификации объектов и т. д. В случае этих более сложных приложений данная система может служить как входное устройство для более мощных ЭВМ.

Развитие описанной системы направлено на ее использование при анализе микроскопических препаратов и исследовании движения животных.

**Системы обработки ИИ на основе видеопамяти.** Основа устройства ввода ИИ в реальном времени — автономная видеопамять (АВП), которая является частью графического дисплея и может быть синхронизирована с телевизионной камерой. АВП — двухпортовая память: один порт служит для вывода изображения на экран графического дисплея, второй, подключаемый при помощи интерфейса ввода-вывода к шине микроЭВМ, — позволяет запись или чтение любой ячейки АВП с доступом 1,5 мс, не мешая работе процессора. Конструктивно описанная АВП выполнена на одной плате в стандарте шины «Электроника 60». Схема АВП приведена на рис. 4. Система предназначена для определения числа и геометрий объектов, слежения за подвижными объектами, в отличие от вышеописанных систем она снижает требования на контраст объектов и фона. Для повышения скорости обработки целесообразно подключить в одну систему несколько АВП.

**Заключение.** Описанные системы для обработки изображений отличаются уровнем предварительной обработки данных и областью их применения, скоростью обработки и их требованиями на мощность микроЭВМ. Следует подчеркнуть, что даже простая 8-разрядная микроЭВМ с входной периферией для сжатия ИИ на уровне строки дает возможность определить координаты контрастного объекта в реальном времени, что имеет широкое применение в области автоматизации биологических опытов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bordes M., Bernengo Y. C., Renaud Y. Ch. Simplified real time television image analyser based on an Apple 11 microcomputer.— Rev. Sci. Instrum., 1983, v. 54, p. 1053—1058.
2. Wehrhahn Ch., Poggio T., Bulthoff H. Tracking and chasing in houseflies.— Biol. Cybernet., 1982, v. 45, p. 123—130.

3. Chien R. T., Snyder W. F. Hardware for visual image processing.—IEEE Trans.-Circuits and Systems, 1975, v. CAS-22, p. 541.
4. Voss K. Shadingkorrektur in der automatischen Bildverarbeitung.—Bild und Ton, 1983, v. 6, p. 170—172.
5. Fujieda S., Nakanishi M. Microcomputer-controlled digitizer for curves on a strip chart not including sharp peaks.—Analyst, 1984, v. 109, p. 1095—1098.
6. Morris R. Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat.—J. Neurosci. Meth., 1984, v. 11, p. 47—80.
7. Weszka J. S. A survey of threshold selection techniques.—Computer Graphics Image Processing, 1978, v. 7, p. 256—265.

*Поступило в редакцию 1 ноября 1985 г.*

---