

уровневых СГОЭ (киноформов), которые обеспечивают эффективную коррекцию хроматических aberrаций в среднем и дальнем ИК-диапазонах спектра [2].

Качество изготовленных ИК-объективов оценено в составе ТВП на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы. Температурно-частотные характеристики некоторых объективов в составе ТВП представлены на рис. 2.

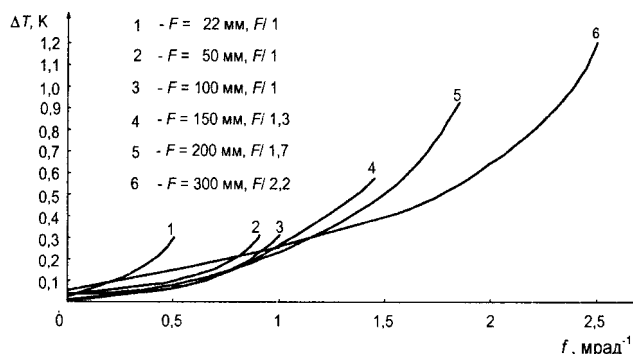


Рис. 2. Температурно-частотные характеристики ТВП: ΔT — радиационная разность температур между мирой и фоном; f — угловая пространственная частота мир; F — фокусное расстояние; $F/1 \dots F/2,2$ — фокальные числа исследуемых ИК-объективов

В заключение надо отметить следующее:

- ФГУП «НПО "ГИПО"» обладает уникальными технологиями изготовления и контроля качества оптических элементов асферической и киноформной оптики, а также методами и аппаратурой для технологического и аттестационного контроля процессов сборки и юстировки центрированных оптических систем, в том числе светосильных ИК-объективов;
- на этой основе разработаны, изготовлены и аттестованы опытные образцы десяти типов ИК-объективов различного назначения;
- завершается подготовка производства для серийного выпуска таких объективов.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов В. П., Лукин А. В., Мельников А. Н. Лазерно-голографический измерительный комплекс ФГУП «НПО "ГИПО"» // Прикладная физика. 2002. № 6. С. 99–105.
2. Агачев А. Р., Ларионов Н. П., Лукин А. В., Миронова Т. А., Нюшкин А. А., Протасевич Д. В., Рафиков Р. А. Синтезированная голограммная оптика // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 12. С. 23–32.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Infrared objectives of thermal vision devices and laser means of measuring their parameters

V. P. Ivanov, A. G. Bugayenko, A. V. Lukin, A. N. Melnikov, A. E. Morozov
State Institute of Applied Optics, Kazan, Russia

The report deals with the purpose, operational conditions and technical characteristics of unified series of fast infrared objectives designed at FGUP "NPO GIPO"; the objectives exhibit high optical quality and improved properties in mass and overall dimension characteristics. The objectives are constructed using aspherical and kinoform optical elements. Information is given concerning laser means designed at FGUP "NPO GIPO" for measurement of infrared objective parameters. As an example, temperature-frequency response are presented for some of the considered objectives mounted in thermal vision devices.

УДК 681.3:681.55:681.513.3

Многоканальная система цифровой обработки для тепловизионных систем наблюдения

А. А. Зорин, И. И. Разумова, В. А. Тарков
ФГУП "Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем",
г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены принципы построения многоканальной системы обработки информации в реальном времени, решающей задачу автоматического сопровождения объектов. Реализованы алгоритмы обработки изображений, использованные для построе-

ния трехканальной системы, наиболее оптимально подходящие для архитектуры ядра системы — нейропроцессора NM6403. Обработка информации осуществляется с использованием нейронной сети Хопфилда, время обработки одного кадра размерностью 384×288 составляет 100—140 мс.

В настоящее время интенсивно ведется разработка интеллектуальных систем с каналами наблюдения, предназначенными для ввода и обработки видеoinформации из каналов наблюдения, работающих в различных спектральных диапазонах. Имеются варианты опытных и серийно выпускаемых систем подобного рода. В ближайшем будущем ожидается большее распространение многоспектральных систем обработки информации — систем наблюдения, автоматического вождения транспортных средств, систем технического зрения для высокотехнологичного оборудования и т. д. Системы наблюдения специального назначения в настоящее время, как правило, содержат кроме канала видимого излучения низкоуровневый и тепловизионные каналы, работающие в различных спектральных диапазонах.

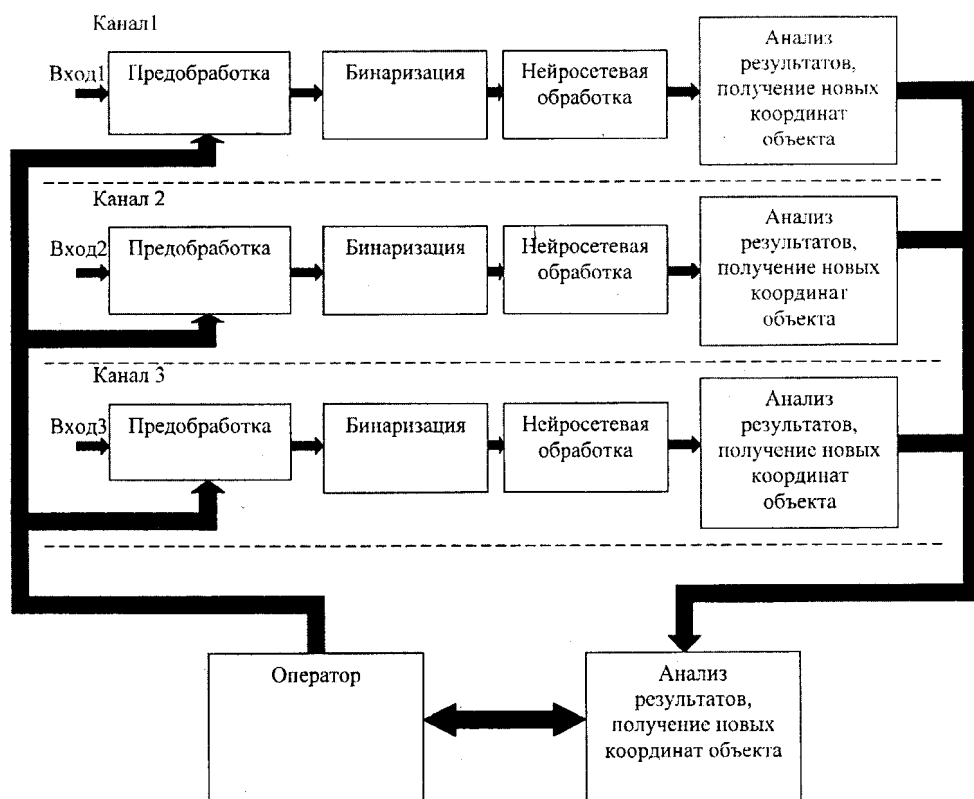
Автоматические системы обработки информации, получающие изображения от различных каналов наблюдения, могут осуществлять совместную обработку информации для повышения надежности работы систем, улучшения качества или информативности изображений (визуальное комплексирование каналов) и т. п. При создании многоканальных систем обработки информации следует исходить из того, что изображения имеют различную размерность, масштаб и

вид в зависимости от используемого спектрального диапазона.

Цель настоящей работы — оценка возможности построения многоканальной системы обработки информации в реальном времени с использованием тепловизионного и низкоуровневого каналов, а также реализация алгоритмов для эффективного решения задачи автоматического сопровождения объектов. Совместная обработка (комплексирование информации) осуществляется на уровне принятия решения, т.е. каждый из каналов независимо производит оценку текущих координат объектов. Формирование окончательной оценки координат объектов на основе совместной обработки информации в каждом из каналов определяется, исходя из степени достоверности полученных данных в каждом из каналов, в соответствии с предложенным критерием.

Функциональная схема и краткое описание алгоритмов

Пример построения многоканальной системы обработки информации в реальном времени, решающей задачу автоматического сопровождения объектов в упрощенном виде, показан на функциональной схеме, представленной на рисунке.



**Функциональная схема
трехканальной системы
обработки информации**

Как видно из схемы, система включает в себя три идентичных по составу канала, в каждом из которых до некоторых пор обработка ведется независимо и параллельно. Данные, полученные в каждом из каналов, используются для принятия окончательного решения о текущем положении объекта.

Используемая в системе предобработка информации состоит из нескольких этапов:

- интерполяционная обработка (совмещение изображений в каналах по масштабу и направлению оси визирования). Цель обработки — унификация координат объектов в различных каналах [1]. В данной реализации используется интерполяция с привязкой к узлам сетки. Определение параметров интерполяции производится предварительно оператором в результате визуального совмещения изображений в каналах перед началом работы системы обработки;

- фильтрационная обработка. Цель — фильтрация низких пространственных частот (сглаживание). Реализуется путем свертки изображения с маской:

$$H = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

- оконтуривание изображения производится для выделения перепадов яркости. Реализуется путем свертки изображения с маской:

$$H = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix};$$

- пороговая обработка осуществляется для удаления небольших яркостных перепадов. Значение порога выбирается оператором, исходя из особенностей объектов и окружающей обстановки.

Бинаризация (устранение избыточности кадра) позволяет сократить как время дальнейшей обработки, так и объем требуемой памяти.

Нейросетевая обработка — основная часть системы, ее цель — получение координат объекта в текущем кадре. Для решения данной задачи используется нейронная сеть Хопфилда [2].

Приведем в упрощенном виде алгоритм работы блока нейросетевой обработки. Исходя из допущений по скорости объекта, выбирается размер области поиска. В полученной области формируются фрагменты, размер которых равен размеру искомого объекта. Далее эти фрагменты подаются на вход нейронной сети, обученной на динамически обновляемый эталонный объект. В результате этих операций получается массив выходных векторов сети, который преобразуется в бинарное изображение по простому алгоритму: в место, соответствующее нулевому выходному

вектору, ставится 0, ненулевому — 1. Изображение на выходе сети имеет вид некоторой области восстановления объекта, размер которой определяется видом объекта и порогом сети Хопфилда. Центр тяжести данной области и будет определять текущие (новые) координаты объекта.

Алгоритм обучения нейронной сети Хопфилда достаточно прост:

$$W[i, j] = P[i] \cdot P[j], \quad (1)$$

где $W[i, j]$ — элемент (бит) весовой матрицы сети;

$P[i], P[j]$ — элемент (бит) искомого объекта (эталона).

Как видно из выражения (1), размер весовой матрицы равен квадрату размера объекта. В данной реализации размер объекта равен 32×32 бита, следовательно, размер весовой матрицы составляет 1024×1024 бит.

Выходной вектор нейронной сети Хопфилда вычисляется по формуле

$$O[i] = \left(\sum_0^{j-1} W[i, j] \cdot I[j] \right) - T_h, \quad (2)$$

где $I[j]$ — элементы входного вектора;

$O[i]$ — элементы выходного вектора;

T_h — порог сети.

Для получения информации, достаточной для принятия решения о новых координатах объекта, реализуется лишь одна итерация нейронной сети (2), что позволяет сэкономить вычислительные ресурсы.

Оценка степени достоверности данных (координат объектов) в каналах основывается на размере области восстановления объекта формируемой на выходе нейронной сети. Чем больше ее площадь, тем больше восстановленных объектов в текущем кадре, и, соответственно, выше степень достоверности данных в канале обработки. Конечно, данный критерий не является идеальным, более того, существуют случаи, для которых он не является даже правильным. Вычисление идеального критерия выбора потребовало бы больших вычислительных мощностей и, соответственно, сказалось бы на быстродействии системы. Как показала практика, использование описанного выше критерия является вполне приемлемым, и в большинстве случаев он является верным.

Совместная обработка полученных в каждом из каналов данных (комплексирование) осуществляется благодаря использованию оценки текущих координат объекта в каждом из каналов и степени достоверности данных. Результирующая оценка текущих координат объекта, необходимая для осуществления сопровождения объекта, определяется при усреднении координат, полученных от различных каналов с нормированными

ми весовыми коэффициентами, определяющих степень достоверности оценки координат в каждом из каналов. Неплохие результаты показывает функционирование системы автоматического сопровождения при работе только по наиболее достоверному (лучшему) каналу.

Элементная база

Для реализации системы была выбрана элементная база отечественного производителя — процессор NM6403 [3], который совмещает в себе как универсальный вычислитель, так и специализированное вычислительное устройство, ориентированное на выполнение базовых нейросетевых векторно-матричных операций. Скалярное устройство обеспечивает интерфейсы с памятью и двумя коммуникационными портами, позволяющими объединять процессоры в вычислительные сети различной конфигурации. Основное назначение скалярного устройства — подготовка данных для векторной части процессора. Центральным звеном нейропроцессора является целочисленное векторное устройство, обладающее возможностями обработки данных различной разрядности. Оно оперирует 64-разрядными словами, которые могут быть разбиты на целочисленные составляющие практически произвольной разрядности в пределах от 1 до 64 бит. На каждую инструкцию векторного процессора затрачивается от 1 до 32 тактов. Векторные инструкции, хотя и занимают несколько тактов процессорного времени, могут выполняться параллельно с инструкциями скалярного процессора. Таким образом, процессор рассчитан на высокопроизводительную обработку больших массивов целочисленных данных.

Матричный блок состоит из 64×64 ячеек и обладает способностью производить операции взвешенного суммирования, характерные для матричных вычислений, над данными с изменяемой разрядностью.

Векторное АЛУ — устройство, позволяющее совершать стандартный набор арифметических и логических операций над парами 64-разрядных слов, каждое из которых разделено на малоразрядные элементы.

На специальных векторно-матричных операциях нейропроцессор дает увеличение производительности в десятки раз по сравнению с процессором TMS320C40. Благодаря наличию коммуникационных портов с интерфейсом, идентичным портам TMS320C40, нейропроцессор может быть интегрирован в гетерогенную многопроцессорную систему.

В настоящей работе для создания системы обработки изображений использовались нейропроцессорные модули МЦ4.04 разработки ОАО НТЦ "Модуль" [4], выполненные в стандарте Compact PCI. Для ввода видеоизображения были использованы мезонинные модули МЦ4.05, дающие на выходе кадр размерностью 384×288 с разрядностью 8 бит/пиксель.

Заключение

При использовании нейросетевого алгоритма автоматического сопровождения объектов суммарное время обработки кадра (включены все описанные программные модули) составляет от 100 до 140 мс в зависимости от информативности изображения объекта. Экспериментальные исследования показали, что в этом случае обеспечивается точность автоматического сопровождения 4–5 пикселей, что несколько ниже, чем при использовании корреляционного метода, но вероятность срыва при этом значительно снижается, обеспечивая работоспособность системы автоматического сопровождения при значительных маневрах и изменении ракурсов объектов.

Литература

1. Тезисы конференции: Тарков В. А., Тарков М. С. Интерполяционная обработка изображений на процессоре NM6403// Тр. 6-й межд. конф. "Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии" РОАИ-6-2002, — Великий Новгород, Россия, 21–26 октября 2002. Т. 1. Ч. 1. С. 538–542.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. — М.: Финансы и статистика, 2002.
3. Черников В. М., Вискне П. Е., Фомин Д. В. Однокристальный цифровой процессор с переменной разрядностью операндов// Известия вузов. Приборостроение. 1996. Т. 39. № 7. С. 13.
4. Руководство по эксплуатации: Модуль МЦ4.04. Руководство по эксплуатации. ЮФКВ.469555.078 РЭ: ЗАО НТЦ "Модуль", (<http://www.module.ru>).

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Multichannel image processing system for thermal supervision systems

A. A. Zorin, I. I. Razumova, V. A. Tarkov
Siberian Research Institute of Optical Systems, Novosibirsk, Russia

In this work are considered foundation principles of multichannel real-time information processing system, which is solving a problem of automatic object tracking. Image processing algorithms, which are used for three-channel system foundation and optimally approaching for system core — Microprocessor Neuro Matrix NM6403 are realized. Information processing is accomplished with using of Hopfield neural network, one 384x288 frame processing time is about 100—140 ms.

УДК 535.247.049.7: 621.383.52

Тепловизионный микроскоп

В. М. Базовкин, А. А. Гузев, А. П. Ковчавцев, Г. Л. Курышев,
А. С. Ларшин, В. Г. Половинкин

Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены конструкция, технические параметры и примеры применения тепловизионного микроскопа. Прибор разработан на основе гибридной микросхемы матричного фотоприемного устройства InAs 128×128, шаг элементов 50 мкм, рабочий диапазон длин волн 2,5—3,1 мкм. При использовании объектива с относительным отверстием 1:1,8 и 10-кратном оптическом увеличении пространственное разрешение составило 7 мкм. Достигнутое температурное разрешение составило 0,2 и 0,015 К для объектов, имеющих температуру 300 и 450 К. Проверена возможность улучшения пространственного разрешения с помощью численной обработки изображения.

Развитие тепловизионной микроскопии расширяет возможности и области применения как обычной микроскопии видимого диапазона, так и тепловидения. Цель настоящей работы — показать возможность создания тепловизионного микроскопа на базе разработанного и изготовляемого в ИФП СО РАН матричного фотоприемного устройства InAs 128×128 [1].

В работе проведены измерения сигнальных и шумовых характеристик прибора и определены его основные параметры: температурное и пространственное разрешения. Показана возможность улучшения пространственного разрешения с помощью математической обработки. Показаны примеры применения микроскопа для контроля качества сборки, наблюдения ИК-излучения при лавинном пробое барьера Шотки на GaAs.

Особенность оптической схемы тепловизионного микроскопа

Тепловизионный микроскоп имеет особенности, отличающие его как от тепловизора, так и от микроскопа видимого диапазона.

В тепловизоре объектив расположен на близком ($\sim F$) расстоянии от фотоприемной матрицы, а объект находится на значительном ($\geq 10 F$) расстоянии от объектива. В этом случае на матрице формируется уменьшенное изображение объекта. Входное окно криостата сконструировано так, чтобы поле зрения фотоприемной матрицы захватывало выходной зрачок объектива. В микроскопе объектив расположен на близком ($\sim F$) расстоянии от объекта и на заметно большем ($5\text{--}10 F$) расстоянии от матрицы. Это обеспечивает формирование увеличенного изображения объекта на матрице. Но в этом случае объектив занимает малую часть поля зрения фо-