

пример, частным случаем полученного решения является алгоритм, рассмотренный в [7]. Отметим также, что при необходимости может быть введен вектор параметров, характеризующих маску объекта, формируемую в ходе работы алгоритма, и использован для решения задач распознавания ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катые Г. П. Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой.— М.: Машиностроение, 1986.
2. Бакут П. А., Колмогоров Г. С., Ворновицкий И. Э. Сегментация изображений: Методы пороговой обработки // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1987.— № 10.
3. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации.— М.: Радио и связь, 1986.
4. Сотсков Б. М., Щербаков В. Ю. Теория и техника калмановской фильтрации при наличии мешающих параметров // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1985.— № 2.
5. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления.— М.: Мир, 1972.
6. Баклицкий В. К. Применение метода фильтрации Калмана к синтезу корреляционно-экстремальных систем // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 1982.— № 3.
7. Алнатов Б. А., Селяев А. А. Алгоритм оценки местоположения объекта на двумерном изображении // Изв. вузов. Приборостроение.— 1988.— № 5.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 681.3.019

В. А. ИВАНОВ
(Новосибирск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Задача автоматического сопровождения объектов состоит в обнаружении объекта с последующим определением его текущих координат на основе анализа серии изображений [1—3].

В работе обсуждаются особенности реализации алгоритма корреляционного сопровождения объектов на мультипроцессорном комплексе (МПК) обработки изображений [4]. Цель создания программ и экспериментов с ними — выявление предельных возможностей МПК, требований к архитектуре, составу оборудования и характеристикам элементов, которые необходимы при построении прикладных систем слежения реального времени.

Одним из основных методов обнаружения объектов является сопоставление «эталонного» фрагмента (объект на некотором фоне) с «текущими» фрагментами изображения путем вычисления некоторой меры сходства $R(x, y)$, которая сравнивается с задаваемым порогом $L(x, y)$. Наличие объекта в точке (x, y) считается установленным, если $R(x, y) > L(x, y)$. В данной работе использованы две меры: корреляционная функция $R1$:

$$R1(x, y) = \langle Fi, Fe \rangle \quad (1)$$

(Fi, Fe — текущий и эталонный фрагменты соответственно; \langle, \rangle — свертка) — и нормированный коэффициент корреляции $R2$:

$$R2 = \langle Fi, Fe \rangle / (\langle Fi, Fi \rangle^{1/2} \langle Fe, Fe \rangle^{1/2}). \quad (2)$$

Мера (1) на практике применима при «малых» отличиях в яркостях эталона и изображения. Далее будут использоваться только центрированные величины Fi и Fe , что компенсирует наличие на изображениях постоянных составляющих.

Изменение яркостных и геометрических характеристик объекта в серии изображений требует модификации эталона, в качестве очередного эталона используется фрагмент с последним найденным объектом. Очевидно, что такой подход практически оправдан, если изменения объекта между коррекциями эталона незначительны.

В состав МПК, на котором осуществлена реализация алгоритма, входят: универсальная мини-ЭВМ «Электроника 79»; оперативная память системы (ОПС), предназначенная для хранения изображений; стенда объединены двумя шинами, одна из которых является продолжением общей шины ЭВМ и служит для управления, а по второй, специализированной, производится быстрый обмен данными с ОПС.

Кратко опишем особенности реализации алгоритма сопровождения. Функционирование алгоритма разделяется на два этапа. На первом этапе осуществляется целеуказание, а на втором (основном) — сопровождение. Оба этапа требуют формирования изображений, что реализовано на основе СТВ, считывающей во внутреннюю память кадр, который затем по системной шине пересылается в ОПС, а также в память СО (если необходимо). Целеуказание осуществляется оператором на ВКУ с использованием программного маркера. Результатом первого этапа является получение координаты начальной привязки эталонного фрагмента, который считывается в память системы. Основным этапом работы представляет собой цикл, включающий следующие вычислительные процедуры:

- 1 — формирование изображения,
- 2 — вычисление меры сходства,
- 3 — определение максимума меры в зоне поиска и ее значимости,
- 4 — коррекция и обновление эталонного фрагмента.

Так как алгоритм и система слежения построены по традиционной схеме, то здесь отметим лишь особенности и трудности при реализации процедур 2—4.

Для слежения в реальном времени применяются процессор фильтрации и корреляционный процессор, которые вычисляют соответственно меры $R1$ и $R2$. Использование двух процессоров связано с тем, что их возможности взаимно дополняют друг друга. ПФ обладает большим по сравнению с КП быстродействием (в несколько раз), но позволяет вычислять только меру $R1$ и имеет максимальный размер эталона 15×15 точек. КП позволяет вычислять меру $R2$ и имеет максимальный размер эталона 32×32 точки. Результат работы процедуры вычисления меры сходства — линейный массив значений мер, имеющий размерность, равную числу точек в зоне поиска ($N \times M$). (Использование двух процессоров привело к реализации двух программ TRF и TRC для фильтра и коррелятора.)

Вычисление максимума меры в зоне поиска выполняется на универсальной ЭВМ. После нахождения максимального значения меры R производится ее сравнение с выбранным порогом L , и если $R < L$, то происходит переход на целеуказание или выход из программы.

Выбор значения порогового уровня для $R2$ осуществляется заданием вероятности пропуска объекта на основе распределения для нормированного коэффициента корреляции [5]. При использовании меры $R1$ в качестве критерия согласия было принято условие

$$(\max(R1)/\langle S(R1) \rangle) < L, \quad (3)$$

где $\max(R1)$ — максимальное значение меры $R1$ внутри области поиска; $\langle S(R1) \rangle$ — среднее значение меры на границе области поиска.

Для учета динамических изменений фона и объекта применяется динамическое обновление эталонного фрагмента. Однако это порождает трудности, связанные с возникновением эффекта «блуждания» объекта внутри эталонного фрагмента или даже «выхода» объекта из этого фрагмента. Наличие такого эффекта обусловлено ошибками в определении координат эталонного фрагмента. Уменьшить его влияние можно сокращением частоты обновления эталона или коррекцией положения объекта внутри фрагмента.

В рассматриваемом алгоритме такая коррекция осуществляется путем определения «центра тяжести» объекта эталонного фрагмента с соответствующим пересчетом координат, по которым считывается эталонный фрагмент.

Для вычисления координат «центра тяжести» объекта следует выделить его в эталонном фрагменте, и поэтому необходимы какие-то предположения относительно модели объекта. Будем предполагать, что изображение объекта представляет собой связное множество точек, а его яркость ниже или выше фона. Такая модель на основе гистограммы позволяет для заданного уровня значимости получить значения двух уровней, которые дают возможность разделить точки эталонного фрагмента на три класса: фон, объект и точки, не отнесенные к первым двум классам. Попутно при разделении вычисляются «центры тяжести» и «моменты инерции» для областей фона и объекта, как в [6]. Заключение о необходимости коррекции выносится по значениям «моментов инерции» фона и объекта, а отнесение областей к фону или объекту производится на основе предположения о связности объекта. В качестве объекта принимается область с меньшим значением «момента инерции».

Программы «реального времени» TRF и TRC получают изображения через СТВ, который позволяет запомнить кадр форматом 512×512 пиксел, затем по быстрой шине МПК изображение пересылается в ОПС.

Целеуказание осуществляется с помощью программного маркера на экране ВКУ СО. Фрагмент изображения 256×256 точек из ОПС пересылается в память СО через быструю шину и отображается на ВКУ вместе с эталонным фрагментом, зоной поиска и зоной оценок мер.

Основной характеристикой систем слежения (программ TRF и TRC) является время выполнения основного цикла. Поэтому операции чтения кадра в память СТВ и обмена данными между СТВ, ОПС и СО выполняются параллельно с работой ЭВМ и практически не увеличивают время обработки.

ВЫВОДЫ

Состав аппаратуры МПК решает поставленную задачу отслеживания изменяющихся объектов на нестационарном фоне при потоке входных данных 4 (для TRC) и 8 (для TRF) кадров форматом 256×256 точек. Предложен вариант «центрирования» объекта в эталонном фрагменте, что позволило обеспечить работоспособность алгоритма при покадровом обновлении эталона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.
2. Буймов А. Г. Корреляционно-экстремальная обработка изображений.— Томск: ТГУ, 1987.
3. Киричук В. С. Метод максимального правдоподобия в задаче определения координат фрагмента // Автометрия.— 1983.— № 6.
4. Киричук В. С., Косых В. П., Обидин Ю. В. и др. Система цифровой обработки изображений с двухшинной архитектурой // Автометрия.— 1989.— № 2.
5. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Статистические выводы и связи.— М.: Наука, 1973.
6. Иванов В. А. Эвристические детекторы перепада плотности и линий на изображениях // Методы и средства обработки изображений.— Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1982.

Поступила в редакцию 26 декабря 1990 г.