

УДК 681.323:621.397

## Распределение вычислительного процесса в многопроцессорном комплексе обработки видеоинформации

О.Ю. Аксенов

**В** настоящее время одной из актуальных задач в области цифровой обработки изображений является обработка потока видеоданных, поступающих в реальном времени от видеокамеры. При этом целью обработки, как правило, является обнаружение объектов заданных классов.

Настоящая работа посвящена системам, оперирующим с изображениями естественных сцен. Для подобных систем характерны недетерминированность наблюдаемых сцен, сложность фона, а также то, что освещенность и контрастность исходного изображения могут изменяться в широких диапазонах. Указанные факторы определяют высокую вычислительную сложность подобных систем цифровой обработки данных. Поэтому, как правило, такие системы реализуются на базе многопроцессорных вычислителей.

При создании многопроцессорных вычислителей необходимо, в частности, рационально выбрать число процессоров и распределить вычисления между ними. Один из возможных подходов, обеспечивший на практике успешное решение указанных задач, рассматривается ниже.

Распределение вычислительного процесса ведется применительно к аппаратно-программному комплексу [1], предназначенному для обработки последовательности изображений (кадров), имеющих формат 384x288 при 256 уровнях серого, поступающих на вход с частотой кадров 25 Гц. В качестве аппаратной части комплекса используется устройство видеобработки VM1 [2] на базе 4 процессоров L1879BM1 (NM6403).

Комплекс должен обнаруживать и распознавать транспортные средства на изображении естествен-

*Рассматривается задача эффективного распределения вычислительного процесса между отдельными процессорами многопроцессорного комплекса. Комплекс предназначен для работы в реальном времени и обеспечивает автоматическое обнаружение объектов заданных классов на изображении, поступающем от подвижной видеокамеры, наблюдающей земную поверхность и расположенные на ней объекты «сверху вниз». Предложен практический подход к решению рассматриваемой задачи на основании анализа свойств используемых алгоритмов обработки и статистических данных о продолжительности их работы по характерным типам изображений.*

ной сцены, получаемой как «вид сверху». При этом предполагается, что источник информации комплекса – телевизионная камера осуществляет обзор местности, т.е. изображения транспортных средств по сравнению с размерами кадра малы (составляют 1/20 его часть).

Обнаруживаемые транспортные средства могут быть как подвижными, так и неподвижными. Камера, в свою очередь, также может быть подвижной или статической. Обнаруженный объект сопровождается на последовательности изображений. В ходе сопровождения накапливается информация для распознавания объекта. Под распознаванием понимается отнесение обнаруженного объекта к одному из заранее заданных классов. Например, к классу легковых автомобилей, к классу грузовых автомобилей, к классу автобусов и т.п.

Для упрощения процесса обработки изображений до приемлемого уровня использованы ограничения. В частности, рассматриваемый комплекс проектировался в предположении:

- ✓ ограниченности числа обнаруживаемых объектов (до 50) и классов (до 10) обнаруживаемых объектов;
- ✓ отсутствия перекрытий обнаруживаемых объектов на изображении;
- ✓ ограниченности ракурсов наблюдения объектов (вид, близкий к «виду сверху»);

✓ ограниченности диапазона изменения масштаба изображения (до 2 раз).

В основу обнаружения положен принцип обнаружения-распознавания, описанный в [3] и использующий понятие *образ* объекта. Под *образом* объекта [1] понимается определенный набор и форма представления параметров, описывающих объект с точностью до класса. Применительно к рассматриваемой задаче образ характеризует форму объекта и получается в результате преобразования изображения объекта, в основе которого лежит выделение перепадов яркости, образующих изображение объекта. В данном случае используется преобразование, обеспечивающее инвариантность *образа* к цвету, положению и ориентации на изображении, масштабу изображения объекта.

В рассматриваемом комплексе реализация упомянутого принципа сводится к последовательному выполнению следующих действий:

✓ на изображении выделяются первичные признаки – элементы, некоторая совокупность которых образует обнаруживаемый объект;

✓ различные наборы первичных признаков объединяются в гипотезы объектов (основная задача – не пропустить нужные объекты), для каждой гипотезы определяется соответствующий *образ*;

✓ проводится распознавание – отбраковка гипотез на основе сравнения их *образов* с эталонами, сформированными при обучении системы распознавания.

При анализе процесса обработки изображения рассматриваемым комплексом можно выделить следующие этапы:

✓ *адаптация* к условиям наблюдения – нормализация яркости и контраста обрабатываемого изображения;

✓ *бинаризация\** – превращение полутонового изображения в бинаризованное на основе выделения перепадов яркости;

✓ *сегментация* – формирование гипотез положения объектов из элементов бинаризованного изображения;

✓ *формирование\** нормализованного *образа* – инвариантное к цвету, ориентации и положению объекта на изображении и его масштабу выделение набора признаков – *образа*;

✓ *распознавание\** нормализованного *образа* по отдельному изображению путем сравнения с эталонными *образами* – обнаружение объектов;

✓ *сопровождение* обнаруженных объектов на последовательности изображений (кадров);

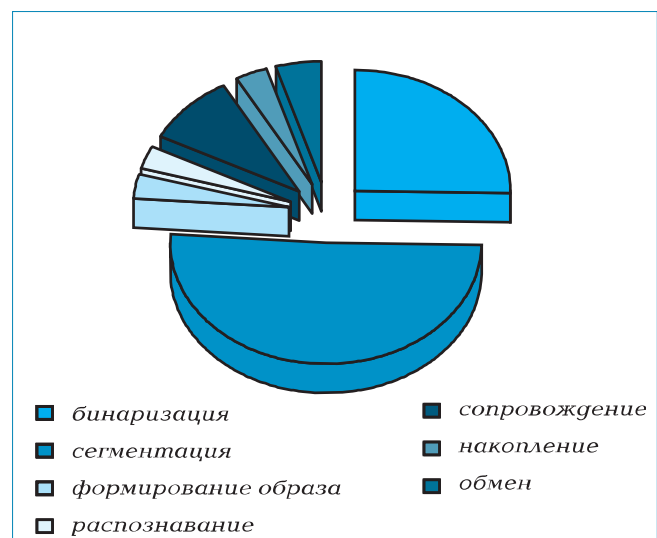
✓ *накопление* результатов распознавания, полученных по последовательности изображений (кадров);

✓ *обмен* данными между процессорами, в том числе их синхронизация.

Использование предлагаемого подхода к распределению вычислительного процесса внутри многопроцессорного вычислителя иллюстрируют следующие рассуждения.

Принципиальная особенность рассматриваемой реализации состоит в том, что для одних этапов их вычислительная трудоемкость (длительность вычислений) не зависит от обрабатываемого изображения – *независимые от изображения* этапы, а для других зависит – *зависимые от изображения* этапы. К первому типу относятся такие этапы, как: *адаптация, бинаризация, обмен*. Ко второму типу – *сегментация, формирование образа, распознавание, сопровождение, накопление*.

Результаты экспериментальной оценки относительной вычислительной трудоемкости этапов обработки изображения приведены на *рис. 1*. Ниже этот вариант будет именоваться как *Версия 1*. При этом трудоемкость *зависимых от изображения* этапов оценивалась для худших случаев («оценки сверху»). В данном случае из анализа исключен этап *адаптации*, поскольку общая трудоемкость оставшихся этапов такова, что обработка потока изображений требует использования всех четырех процессоров используемого устройства VM1, и для реализации



**Рис. 1. Трудоемкость этапов обработки изображения (Версия 1)**

\* Использована эффективная программная реализация на векторной части процессора L1879VM1 (NM6403).

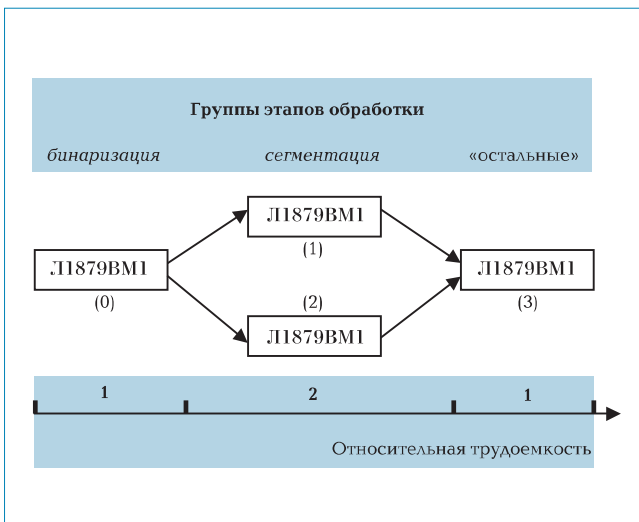
адаптации фактически не остается вычислительных ресурсов.

Относительная трудоемкость этапов, в значительной мере, определяет схему организации вычислительного процесса. В данном случае можно выделить 3 группы этапов: *бинаризация*, *сегментация*, «остальные» этапы. Трудоемкости этих групп, как это показано на *рис. 1*, относятся как 1:2:1. Это позволяет предложить организацию вычислительного процесса в виде, показанном на *рис. 2*.

При этом учтено, что такие этапы, как *сопровождение* и *накопление*, основаны на объединении данных, получаемых при обработке каждого кадра. Поэтому целесообразно их реализовать на одном процессоре, отмеченном на *рис. 2* символом (3), что позволит сэкономить на межпроцессорном обмене данных.

*Рис. 2* предполагает, что процессоры, отмеченные на нем символами (0) и (3), обрабатывают каждый кадр за время, не превышающее период следования кадров. Процессоры, отмеченные как (1) и (2), в свою очередь, обрабатывают соответственно только четные и нечетные кадры. Однако времени на обработку одного кадра этим процессорам отводится в 2 раза больше, чем процессорам (0) и (3).

Меняющиеся условия наблюдения приводят, в частности, к изменению освещенности и контрастности объектов на изображении. Это, в свою очередь, – к изменению результатов *бинаризации*, а значит, и результатов формирования образа, и в конечном итоге – обнаружения. Стремление уменьшить зависимость способности комплекса обнаруживать объекты от меняющихся условий наблюдения определяет необходимость введения в процесс обработки упомянутого выше этапа *адаптации* и проведения поиска соответствующих вычислительных ресурсов.



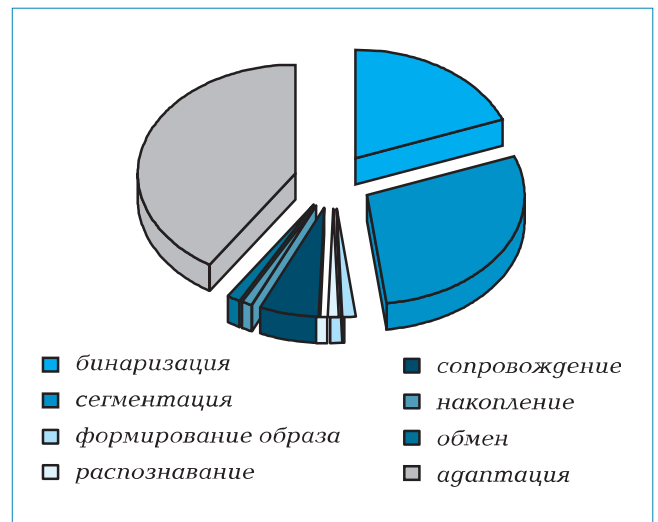
**Рис. 2. Организация вычислительного процесса (Версия 1)**

Анализ работы комплекса в *Версии 1* показал, что резервы целесообразно искать на этапах, *зависимых от изображения*. Из данных, представленных на *рис. 1*, следует, что в первую очередь это этап *сегментации*, как наиболее ресурсоемкий. Поэтому были исследованы законы распределения вычислительной трудоемкости этапа *сегментации* для различных типов изображений. Результаты этих исследований позволили сделать вывод, что для наиболее типичных для рассматриваемого комплекса изображений трудоемкость *сегментации* с большой вероятностью может составлять не более половины от величины, отображенной на *рис. 1*.

Экономленный на этом вычислительный ресурс позволил на той же аппаратной базе дополнительно реализовать этап *адаптации* и в итоге получить *Версию 2* рассматриваемого комплекса. Относительные трудоемкости этапов обработки комплекса по *Версии 2* отображены на *рис. 3*.

Использование вероятностного подхода к оценке длительности *сегментации* потребовало введения в программу, реализующую этот этап, возможности завершения работы по исчерпанию выделенного лимита времени. Это необходимо для обеспечения стабильности работы комплекса в случае подачи на его вход изображений, время *сегментации* которых может превысить величину, соответствующую отображенной на *рис. 3*.

В отличие от данных *рис. 1*, трудоемкость этапов, представленная на *рис. 3*, плохо делится на части, кратные используемому числу процессоров. Это определило использование организации вычислительного процесса комплекса по *Версии 2* в виде, изображенном на *рис. 4*. Дополнительное преимущество схемы, представленной на *рис. 4*, по сравнению со схемой, представленной на *рис. 2*, в уменьшении дробления процесса обработки отдельного



**Рис. 3. Трудоемкость этапов обработки изображения (Версия 2)**

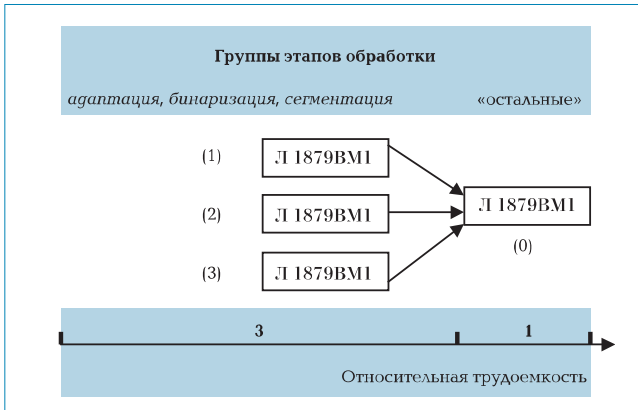


Рис. 4. Организация вычислительного процесса (Версия 2)

кадра между процессорами. Это сокращает межпроцессорный обмен информацией.

Временная диаграмма работы процессоров при организации вычислительного процесса по Версии 2 изображена на рис. 5. Такая организация, так же, как и в случае Версии 1, обеспечивает задержку обработки, равную 4 кадрам.

Следует отметить, что принудительное ограничение длительности сегментации, вообще говоря, может привести к пропуску объектов. Однако тут важны конкретные количественные показатели. Так, в рассматриваемом случае вероятность принудительного прекращения сегментации была выбрана таким образом, чтобы оказаться существенно меньше требуемой вероятности обнаружения. Другими словами, в этом случае принудительное ограничение длительности сегментации не привело к заметному ухудшению обнаруживающей способности комплекса. Тем не менее следует учитывать, что подобный подход, может оказаться мало перспективным при необходимости обеспечения вероятности обнаружения, близкой к единице.

В целом предлагаемый подход позволил улучшить характеристики обнаружения за счет более эффективного использования имеющихся вычислительных мощностей, позволившего дополнительно ввести этап адаптации. Это положение иллюстрирует рис. 6.

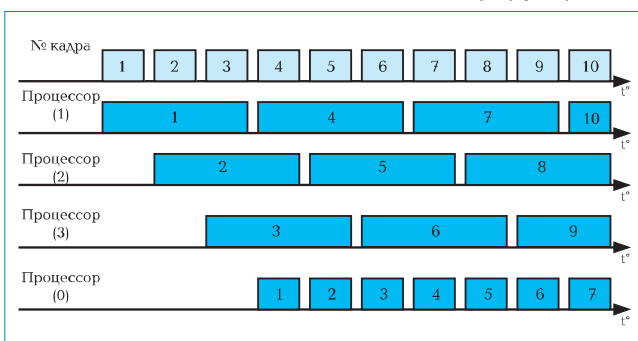


Рис. 5. Временная диаграмма обработки изображения (Версия 2)



Рис. 6. Фрагмент изображения, на котором комплекс в Версии 2 обнаруживает вертолет

На нем приведен фрагмент изображения, при обработке которого комплекс в Версии 1 не обнаруживает вертолет, а в Версии 2 за счет адаптации – локального повышения контраста – обнаруживает.

Таким образом, предложен подход к созданию многопроцессорных комплексов обработки видеoinформации в части распределения вычислительной нагрузки между процессорами. Его основные положения сводятся к следующим моментам:

- ✓ использование статистических данных о тех этапах обработки изображения, трудоемкость которых зависит от изображения;
- ✓ распределение этапов обработки изображения между процессорами на основании данных о вычислительной трудоемкости этапов при стремлении минимизировать межпроцессорный обмен промежуточными данными.

Анализ работы аппаратно-программного комплекса [1] при обнаружении объектов на изображениях естественных сцен показал, что он обеспечивает обнаружение объектов заданных классов в широком диапазоне условий освещенности и контрастности. Это подтверждает эффективность предлагаемого подхода к созданию подобных систем обработки потоков изображений.

### Литература

1. Аксенов О.Ю. Методика формирования обучающих выборок для распознающей системы. // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2004». Сборник научных трудов Ч. 2, с. 215-222, М., МИФИ. 2004.
2. <http://www.module.ru/ruproducts/dspmod/bm1-r.shtml>.
3. Аксенов О.Ю. Обнаружение и распознавание объектов на изображениях с использованием искусственных нейросетей. // Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-99». Ч. 3, с. 131-137. М., МИФИ. 1999.