

1562354

На правах рукописи

Габриелян Арам Робертович

ПРОГРАММНО - АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ
АВТОНОМНОГО МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

05.02.05. - Роботы, манипуляторы и робототехнические
системы



Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1999

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом
Университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Михайлов Б.Б.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Клевалин В.А.

кандидат технических наук, доцент
Панков В.А.

Ведущая организация: Государственный институт физико-
технических проблем (ГосИФТП)

Защита состоится 10 " мая 1999г. на заседании
Диссертационного Совета К053.15.06 Автоматические приводы и
системы управления Московского Государственного Технического
Университета имени Н.Э. Баумана по адресу:

ул., дом 5.

заверенные гербовой печатью,

и в библиотеке МГТУ им. Н.Э.

1999г.

Совета

Максимов А.И.

ем 1.0 п.л. Тир. 100 экз.

ТУ

1562354

Актуальность темы. Развитие робототехники является важным показателем научно-технического, промышленного и военного потенциала страны, характеристикой ее технического прогресса.

Одно из приоритетных направлений робототехники связано с разработкой автономных мобильных роботов, предназначенных для функционирования в недетерминированной среде, в особо трудных или вредных для здоровья человека условиях: в шахтах, в космосе, в агрессивных газовых и жидкостных средах.

Существенную роль при разработке систем управления роботов данного типа отводится получению и интерпретации информации о среде функционирования. Решение этой задачи возлагается на систему технического зрения (СТЗ), как наиболее эффективное средство очувствления, основным преимуществом которого являются высокая информативность, возможность быстрой и простой переналадки для работы с различными объектами, широкий круг решаемых задач.

Для успешного функционирования в недетерминированных условиях СТЗ должна снабжать систему управления робота и оператора робототехнической системы информацией о текущей ситуации во внешней среде, предоставлять данные для формирования модели рабочей среды в целях автоматического планирования действий робота, или облегчения работы оператора. Решение этой задачи сдерживается отсутствием надежных и эффективных алгоритмов обработки изображений, так как существующие алгоритмы, используемые в СТЗ промышленного назначения, не применимы для работы в недетерминированных условиях внешней среды. Поэтому разработка универсальных алгоритмов обработки изображения является одной из актуальных задач на текущем этапе развития робототехники.

В диссертации рассматриваются вопросы разработки СТЗ, являющейся ключевым элементом адаптивных робототехнических систем (АРС) для экстремальных условий.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является разработка алгоритмического и программного обеспечения СТЗ для роботов, функционирующих в недетерминированных условиях внешней среды.

В соответствии с этим в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- Разработать алгоритм выделения контуров при неравномерной освещенности сцены.
- Разработать процедуру сегментации контуров, работоспособность которой не зависит от размеров изображения объектов.
- Разработать алгоритмы для аппроксимации контурных линий не-



зависимо от их типа.

- Разработать алгоритмы интерпретации результатов первичной аппроксимации контурных линий, позволяющих получить полное описание объекта.

- Разработать программное обеспечение для реализации рассмотренных алгоритмов.

- Провести математическое моделирование и экспериментальное исследование работоспособности разработанных алгоритмов и программного обеспечения на изображениях реальных объектов.

Методы исследования. Поставленные задачи решаются с помощью методов вычислительной математики, аналитической геометрии, векторной алгебры и ранее разработанных методов обработки изображений. Использовались процедуры вычисления градиентов, сегментации, фильтрации, аппроксимации, описания и анализа.

Исследование работоспособности разработанных алгоритмов проводилось как методом математического моделирования, так и путем натуральных испытаний СТЗ.

Научная новизна работы

Предложен усовершенствованный алгоритм для выделения контуров объектов с использованием глобального порога бинаризации, позволяющий сократить время предварительной обработки и получить качественные результаты как при неравномерной освещенности сцены так и при изменении освещенности во время работы. Разработана процедура сегментации изображения на основе анализа направления градиентов яркости, которая позволяет выполнить качественную сегментацию изображения независимо от размеров изображений рассматриваемых объектов. Предложенные методика и алгоритмы аппроксимации участков контура объекта позволили сформулировать общий подход для аппроксимаций контурных линий независимо от их вида. Разработанный обобщенный алгоритм интерпретации позволил получить описание контуров объекта на основе анализа параметров аппроксимации отдельных участков. В результате применения алгоритмов аппроксимации и интерпретации выполняется преобразование исходного растрового изображения в векторное. Новизна такого преобразования заключается в том, что при его использовании сохраняется характер контурных линий, что обеспечивает однозначность описания объектов и их распознавание, сокращается объем обрабатываемой видеoinформации и соответственно уменьшается общее время обработки.

Практическая ценность и внедрение. Практическая ценность результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в создании эффективных алгоритмов обработки изображения и программного обеспечения, реализующего эти алгоритмы, позволяющего повысить качество обработки изображения и расширить область применения СТЗ.

Разработанный комплекс алгоритмического и программного обеспечения может быть непосредственно использован в реальных робототехнических системах, а также для решения других задач, связанных с идентификацией объектов с помощью СТЗ.

Проведенные исследования являются частью фундаментальных исследований в области обработки изображения, которые проводились в МГТУ им. Н.Э. Баумана в течении последних лет. Они выполнялись в рамках госбюджетных тем НИЧ 1-33/97 «Разработка информационного обеспечения интеллектуальных робототехнических систем» (1997г.), НИЧ 1-48/98 «Разработка и создание интеллектуального робототехнического комплекса сборки» (1998г.), НИЧ 1-33/98 «Разработка информационного обеспечения интеллектуальных робототехнических систем с распределенной структурой для выполнения сложных операции в экстремальных условий» (1998г.).

Основные научные и практические результаты диссертации внедрены в МГТУ им. Н.Э. Баумана и «МНТК-РОБОТ» при проектировании многоцелевого робота по техническому заданию № 540-08/80 для СмоленскАтомТехЭнерго г. Деснагорск. Созданный программный пакет используется в Научно-Учебном Центре «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана при выполнении научно-исследовательских работ и в учебном процессе.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и были обсуждены на: 7-ой научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (г. Ст.-Петербург, Россия, 1996г.); 14-ой Российской научно-технической конференции «Контроль и диагностика» (г. Москва, Россия, 1996г.); 9-ой научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (г. Ст.-Петербург, Россия, 1999г.); на семинарах Научно-учебного центра «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1995-1998гг.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы нашли отражение в 6 научных трудах, среди которых 3 статьи и 3 отчета по НИР.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет ____ печатных страниц, включая рисунки. Библиография содержит __ наименований, из них __ иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрены проблемы возникающие при проектировании систем технического зрения роботов, определена область исследования и сформулирована цель работы. Показано практическое значение диссертаци-

онной работы, отражены апробация и внедрение результатов. Описана структура работы.

В первой главе дается обзор литературы и проводится анализ работ в области обработки изображений с целью определения алгоритмов и процедур используемых в СТЗ промышленных роботов и роботов специального назначения. В этой области, при решении конкретных задач наиболее известными являются работы, выполненные Поповым Е.П., Соколовым С.М., Петровым А.А., Рыбаком В.И., Тани Н.Ю., Милачем С.П. и некоторыми другими.

Проведен анализ особенностей применения адаптивных роботов в недетерминированных условиях внешней среды, который позволил определить специфические требования к визуальному каналу таких роботов. Определены место и типичные задачи, решаемые СТЗ при использовании в составе автономного манипуляционного робота.

Рассмотрены структуры и особенности существующих двух и трехмерных СТЗ промышленного назначения и перечислены основные задачи и особенности их аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения. Анализ существующих методов получения и обработки визуальной информации показал, что существующие оптические датчики имеют нелинейную передаточную характеристику. Отмечена необходимость учета этого недостатка на этапе получения цифрового изображения путем корректировки систематических искажений в изображениях.

Рассмотрены различные способы первичной обработки полутонных изображений, используемые в промышленных СТЗ, и отмечены присущие им недостатки при работе в недетерминированных условиях. В частности, отмечено, что известные алгоритмы выделения контуров требуют дополнительного учета и корректировки порога бинаризации для обеспечения качественного выделения при изменении освещенности сцены. Существующие алгоритмы описания позволяют аппроксимировать контуры объектов с помощью многогранников, что не всегда применимо при описании объектов неизвестной формы и для их последующего распознавания. Показано, что особые трудности возникают при распознавании частично перекрывающихся объектов, так как работа стандартных алгоритмов распознавания основана на поиске заранее известных фрагментов контура искомого объекта.

Обоснована необходимость разработки универсальных алгоритмов для использования в СТЗ адаптивных манипуляционных роботов, функционирующих в условиях недетерминированной внешней среды. Эти алгоритмы должны обеспечить выделение контуров при изменении уровня освещенности, их сегментацию независимо от размеров объекта и математическое описание контуров неизвестных объектов. Исходя из этого уточнены и конкретизированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе разрабатываются алгоритмы обработки изображений объектов в СТЗ.

Для коррекции систематических яркостных искажений исходного изображения, связанных с нелинейностью передаточной характеристики камеры в диссертационной работе применяется методика, основанная на некоторых допущениях. Предполагается, что сигнал $G(i,j)$ на выходе телекамеры может быть представлена в виде (1), где $F(i,j)$ – “истинное” изображение, а $E(i,j)$ определяет искажения в узлах сетки.

$$G(i,j) = F(i,j) * E(i,j) \quad (1)$$

Определение функцию $E(i,j)$ достаточно трудно, а подчас невозможно. Поэтому ее получают экспериментально, вводя тестовое изображение однотонного фона при разных уровнях освещенности. После этого поэлементно устраняется вклад искажений $E(i,j)$ в функцию $G(i,j)$ и рассчитывается $F(i,j)$.

Полученный график зависимости между действительным уровнем освещенности сцены и его фактическим значением, полученным из изображений однотонного фона, можно условно разделить на несколько приблизительно линейных участков. Используя зависимость (1), при дальнейшей обработке компенсируются яркостные искажения реальных изображений, связанные с нелинейностью свето-сигнальной характеристики используемой камеры.

После получения скорректированного изображения фильтруются яркостные помехи в виде случайных точечных всплесков уровня яркости. Для этого в работе используется стандартный алгоритм медианной фильтрации, который позволяет устранять отмеченные помехи, и при этом сохранить резкие перепады уровня яркости, соответствующие границам между объектами или между объектами и фоном.

Надо отметить, что результат работы СТЗ в значительной мере зависит от того, насколько процедура предварительной обработки видеосигнала справилась с одной из принципиальных трудностей, а именно с автоматической адаптацией при изменении освещенности или при неравномерной освещенности сцены. Для решения этой проблемы предложен алгоритм выделения контурных точек с помощью анализа значений относительного градиента яркости, который определяется равенством:

$$\|\nabla G[f(x,y)]\| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} / f(x,y), \quad (2)$$

где $f(x,y)$ уровень яркости в точке с координатами (x,y) , а $G_x = \partial f(x,y) / \partial x$ и $G_y = \partial f(x,y) / \partial y$ составляющие градиента яркости по направлениям “x” и “y”.

Работа данного алгоритма основана на подсчете разности коэффициентов отражательной способности поверхностей объекта и фона, которая не зависит от уровня освещенности и, следовательно, дает возможность выделения контуров поверхностей объекта независимо от изменения уровня освещенности сцены.

Для сегментации контура объекта используется метод обхода изоб-

ражения контура с учетом значений направлений градиентов яркости. Такой подход позволяет значительно улучшить качество сегментации, дает возможность обнаружения точек изломов контурной линии и разделения контура объекта на отдельные участки независимо от их размеров.

В работе рассматриваются общие алгоритмы описания объектов стандартной геометрической формы, которые можно условно разделить на два типа. Первый тип - объект состоит из многогранников, контуры которых при проекции на плоскость изображения преобразуются в многоугольники. Второй - объект состоит из тел вращения которые при проекции вырождаются в кривые второго порядка (эллипсы, гиперболы, параболы). Каждому из указанных типов объектов соответствуют характерные наборы признаков для их описания и идентификации. Целесообразно уже на первых этапах обработки определить к какому типу относится данный участок контура. Для этого как прямые, так и криволинейные участки контура аппроксимируются одним и тем же уравнением:

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F = 0 \quad (3)$$

Для определения параметров уравнения (3) используется метод наименьшего квадратичного отклонения (НКО), который приводит к соответствующей системе уравнений. Исследования показали, что такой подход связан с некоторыми трудностями. Так для прямолинейных участков параметры "А", "В" и "С" должны быть равны нулю. Однако для этого необходимо, чтобы количество точек аппроксимируемого отрезка было достаточно большим и они совпадали с идеальной прямой, чего, как правило, не бывает при обработке реальных изображений. В противном случае метод НКО аппроксимирует прямолинейный участок уравнением кривой второго порядка с соответствующими параметрами. Для решения этой проблемы в работе предложена соответствующая методика.

Для дальнейшего использования полученных параметров аппроксимации, необходимо классифицировать полученные кривые второго порядка. Надо отметить, что для уравнения (3) существуют инварианты относительно переноса и поворота осей координат (4). Эти инварианты определяют свойства кривой второго порядка, независимо от ее положения на плоскости и дают возможность ее классификации для последующего описания:

$$\begin{aligned} -I &= A+B; & -D &= \begin{vmatrix} A & C/2 \\ C/2 & B \end{vmatrix}; \\ -A &= \begin{vmatrix} A & C/2 & D/2 \\ C/2 & B & E/2 \\ D/2 & E/2 & F \end{vmatrix}, & -A^* &= \begin{vmatrix} B & E/2 \\ E/2 & F \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} A & D/2 \\ D/2 & F \end{vmatrix}, \end{aligned} \quad (4)$$

где A, B, C, D, E и F - параметры уравнения (3).

После первичной аппроксимации, как правило, каждый участок контура описывается множеством прямых и/или кривых линий. Это обусловлено тем, что во первых - толщина контура реального объекта больше одного пиксела и, следовательно, алгоритм обхода контура даст несколько векторов для аппроксимации соответствующего участка; во вторых - любая помеха в виде ложной контурной точки может прервать обход в этой точке и контур разделиться на части. Поэтому после первичной аппроксимации возникает необходимость объединения всех линий, принадлежащих одному участку контура. Надо учитывать, что при таком объединении могут возникнуть ситуации, когда часть линий аппроксимирована отрезками прямых, а часть - кривыми второго порядка. Следовательно, алгоритмы объединения должны обеспечивать принятие правильного решения при любой ситуации.

Для этого в работе разработан алгоритм группировки участков, который осуществляет "натягивание" контурных точек маленького участка на точки большого. Для оценки качества группировки с помощью метода НКО подсчитывается среднее отклонение точек маленького участка от аппроксимированной линии большого. Если это отклонение не превышает заданного порога, считается что рассмотренные участки совпадают. Важно отметить что, для подсчета новых параметров аппроксимации по методу НКО, отпадает необходимость повторной работы с координатами отдельных точек контура. Для подсчета параметров объединенного участка достаточно суммировать уже имеющиеся значения соответствующих параметров для группируемых участков:

$$M_{ij}^{lk} = M_i^{lk} + M_j^{lk} ; n_{ij} = n_i + n_j, \text{ где } l = 0, \dots, 4, k = 0, \dots, 4$$

$$M_j^{lk} = \sum_{i=1}^{n_j} x_{ji}^l y_{ji}^k ; n_j, \text{ где } i \text{ и } j \text{ номера группируемых участков.}$$

В результате работы данного алгоритма получается достаточно качественное описание контура объекта. Однако использовать такое описание неудобно, так как один участок контура может быть описан несколькими линиями, которые имеют одинаковые параметры аппроксимации, но при этом или перекрывают друг друга (частично или полностью), или близки по расположению но не связаны друг с другом.

На следующем этапе обработки вышеуказанные недостатки исправляются с учетом оценки длины возможного недостающего участка линий. Если она меньше, чем допустимое значение, то участки контура объединяются в один с соответствующими координатами конечных точек.

При описании сцены надо учитывать, что контур изображения реального объекта, состоящий из аппроксимированных ранее участков, должен быть замкнутым. Для этого необходимо найти конечные точки отдельных участков контура и состыковать их. Уточнение конечных то-

чек производится исходя из соображения, что конечными точками для каждой из линий участка должны быть точки ее пересечения с другими линиями (рис. 1). Поэтому для нахождения точек пересечения контурных линий необходимо решать соответствующую систему уравнений:

- для прямолинейных участков
$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2 = 0 \end{cases}$$
- для смешанных участков
$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1 = 0 \\ A_2x^2 + B_2y^2 + C_2xy + D_2x + E_2y + F_2 = 0 \end{cases}$$
- для криволинейных участков
$$\begin{cases} A_1x^2 + B_1y^2 + C_1xy + D_1x + E_1y + F_1 = 0 \\ A_2x^2 + B_2y^2 + C_2xy + D_2x + E_2y + F_2 = 0 \end{cases}$$

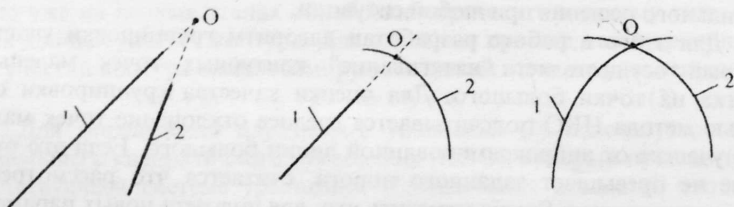


рис. 1

После получения описания контура подсчитываются геометрические параметры объекта, необходимые для его идентификации, определения положения и ориентации. Для этого путем последовательного обхода определяются участки принадлежащие внешнему контуру объекта. При этом используются полученные параметры аппроксимации участков контура и известные уравнения векторной геометрии. После этого вычисляется количество углов (точек сопряжения) и периметр внешнего контура:

$$P = \sum_{i=1}^N l_i, \quad l_i = \sqrt{(X_{2i} - X_{1i})^2 + (Y_{2i} - Y_{1i})^2}, \quad (5)$$

где l_i - длина i -го отрезка внешнего контура, N - количество отрезков.

Учитывая что контур объекта описан как прямыми, так и кривыми второго порядка, для подсчета остальных геометрических параметров изображения объекта в диссертации используется метод построения сканирования прямыми параллельными оси "оx" (рис. 2). В результате рассчитывались следующие основные параметры сложного объекта (S , X_0 , Y_0):

$$S = \sum_{i=1}^{Y_{\max} - Y_{\min} + 1} L_i, \quad X_0 = \frac{\sum_{i=1}^{Y_{\max} - Y_{\min} + 1} X_i}{S}, \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{Y_{\max} - Y_{\min} + 1} Y_i}{S}, \quad \text{где}$$

$$L_i = l_2 + l_4 + \dots = (X_2 - X_1) + (X_4 - X_3) + \dots$$

$$X_i = \frac{(X_1 + X_2)(X_2 - X_1 + 1)}{2} + \frac{(X_3 + X_4)(X_4 - X_3 + 1)}{2} (+ \dots) \quad (6)$$

$$Y_i = i \cdot [(X_2 - X_1 + 1) + (X_4 - X_3 + 1) (+ \dots)]$$

$$X_1 = \frac{-C_1 - B_1 \cdot Y_i}{A_1} \quad X_2 = \frac{-C_2 - B_2 \cdot Y_i}{A_2} \quad X_3 = \frac{-C_3 - B_3 \cdot Y_i}{A_3} \quad X_4 = \frac{-C_4 - B_4 \cdot Y_i}{A_4}$$

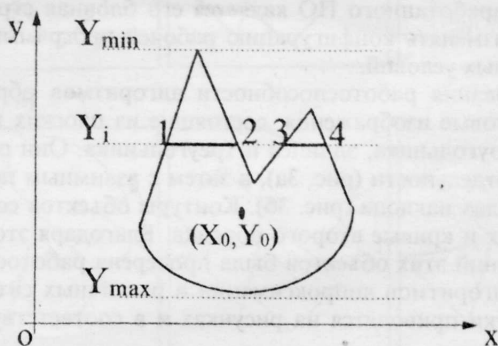


рис. 2

Имея описание внешнего контура объекта и зная его площадь, периметр, координаты центра, количество углов при необходимости можно подсчитать и другие характерные параметры, необходимые для распознавания объекта. В том числе коэффициент формы, величину максимального и минимального радиус-векторов, длину самого большого отрезка и т. д. Эта информация заносится в базу данных СТЗ и может использоваться для идентификации объектов, расположенных на рабочей сцене.

В том случае, если объект имеет сложную форму и параметров, полученных с помощью одной проекции, недостаточно для его полной идентификации определяются рекомендуемые направления последующих снимков для получения недостающих проекций. Рекомендуемые направления передаются в систему управления робота для принятия последующего решения.

В конце второй главы приводится описание алгоритма, позволяющего определить верхний объект из группы произвольно лежащих плоских объектов. Работа этого алгоритма основана на анализе связности и замкнутости контурных линий объектов. Именно возможность проведения такого анализа позволяет использовать разработанный алгоритм при работе с неизвестными объектами. Алгоритм может быть использован при решении весьма распространенной задачи разбора навала с помощью манипуляционного робота.

Третья глава диссертационной работы посвящена математическому моделированию алгоритмов, разработанных во второй главе.

Для исследования работоспособности и реализации предложенных алгоритмов было разработано соответствующее программное обеспечение (ПО). В диссертационной работе приведена структура ПО и основные параметры используемых для его реализации аппаратных средств. Особенностью разработанного ПО является его блочная структура, которая позволяет изменять конфигурацию рабочей программы в зависимости от конкретных условий.

Для исследования работоспособности алгоритмов обработки использовались тестовые изображения, состоящие из плоских геометрических фигур: прямоугольника, эллипса и треугольника. Они обрабатывались вначале по отдельности (рис. 3а), а затем с взаимным перекрытием при различных углах наклона (рис. 3б). Контуры объектов содержат как прямые линии, так и кривые второго порядка. Благодаря этому при обработке изображений этих объектов была проверена работоспособность разработанных алгоритмов аппроксимации в различных ситуациях. Результаты обработки приводятся на рисунках и в соответствующих таблицах.

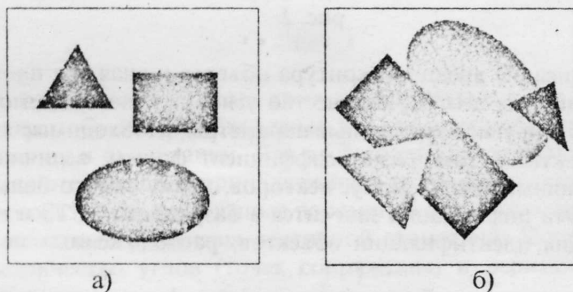


рис. 3

Для выяснения границ работоспособности предложенных методов и оценки точности описания изменялись как размеры обрабатываемых объектов так и их взаимное расположение. В первую очередь была исследована работоспособность алгоритмов кодирования, сегментации и формализации контуров объектов.

Первичная аппроксимация участков контуров производилась с помощью рассмотренного в предыдущей главе уравнения (3). Результаты такой первичной аппроксимации показали что некоторые участки контура иногда аппроксимируются некорректно (рис. 4б). Однако, в дальнейшем, алгоритмы группировки (“натягивания”) и соединения участков контура корректируют все неточности первичной аппроксимации, что иллюстрировано на рис. 4в и 4г соответственно.

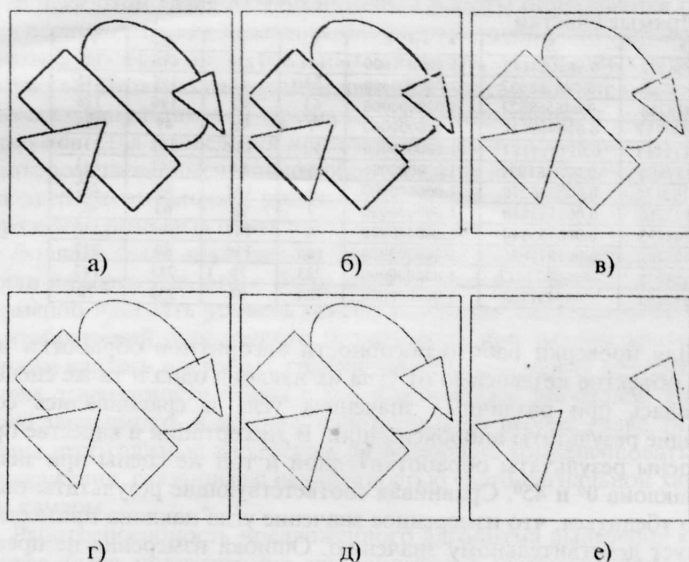


рис. 4

Окончательная корректировка параметров аппроксимации и конечных точек участков производится с помощью алгоритма, который подробно описан в предыдущей главе. В результате получается окончательное описание замкнутых контуров объектов (рис. 4д), где все участки контура описаны с помощью уравнения (3), а параметры этих уравнений приведены в таб. 1. Полученное описание позволяет вычислить необходимые параметры объектов для их распознавания.

Результаты работы алгоритма выделения объектов лежащих сверху навала в случае объектов различной формы показаны на рис. 4е.

Таблица 1

Кривые второго порядка (Эллипсы)

	A	B	C	D	E	F
1	-0.000065094	-0.000063632	0.000056470	0.015447138	0.001919338	-1.000000000
2	-0.000065094	-0.000063632	0.000056470	0.015447138	0.001919338	-1.000000000

	X_0	Y_0	φ	R_M	R_m	φ_1	φ_N
1	155	83	0.798341	87.713238	54.778423	3.217072	5.976727
2	155	83	0.798341	87.713238	54.778423	0.406897	1.504653

Прямые участки

D	E	F	X ₀	Y ₀	X _N	Y _N
0.002688172	0.002688172	-1.000000000	141	231	196	176
0.046918768	-0.046568627	-1.000000000	63	42	196	176
0.0:6918768	-0.046568627	-1.000000000	63	42	196	176
-0.010707757	0.010968921	-1.000000000	7	98	49	139
-0.011111111	0.011111111	-1.000000000	92	182	141	231
0.015837104	-0.020361991	-1.000000000	184	94	247	143
-0.007192175	0.007096279	-1.000000000	6	147	80	222
0.009523810	0.009523810	-1.000000000	7	98	63	42
0.001148493	0.006755844	-1.000000000	6	147	106	130
0.007005787	0.001979896	-1.000000000	106	130	80	222
0.004554245	-0.000873417	-1.000000000	233	70	247	143
0.002660164	0.005431168	-1.000000000	184	94	233	70

Для проверки работоспособности алгоритмов обработки изображений объектов независимо от угла их наклона одна и та же сцена обрабатывалась при различных значениях угла и сравнивались соответствующие результаты аппроксимации. В диссертации в качестве примера приведены результаты обработки одной и той же сцены при значениях угла наклона 0^0 и 45^0 . Сравнивая соответствующие результаты описания можно убедиться, что измеренное значение угла наклона примерно соответствует действительному значению. Ошибка измерения не превышает одного градуса, то есть точность работы алгоритмов обработки достаточно велика и независит от угла наклона обрабатываемого изображения.

В этой главе также исследуется работоспособность алгоритмов выделения объектов лежащих сверху навала. Для примера обрабатывается изображение, показанное на рис. 5а. На рис. 5б показаны результаты выделения контуров двух объектов (1 и 2) с возможными дефектами. Однако разработанные алгоритмы описания устраняют эти дефекты и дают описание замкнутых контуров (рис. 5в). На рис. 5г приведены результаты работы алгоритма анализа связности контурных линий и выделения объекта, лежащего сверху навала. Ограничением для данного алгоритма является замкнутость описанной контурной линии.

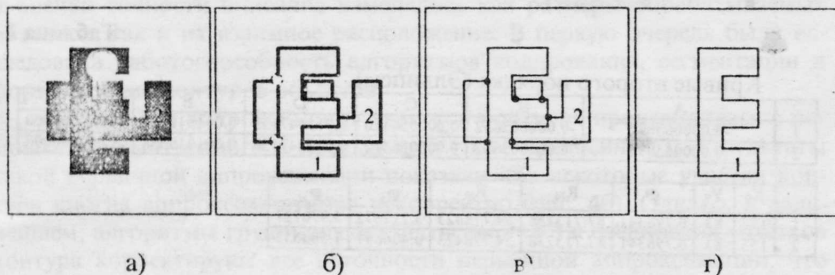


рис. 5

В четвертой главе диссертационной работы описываются результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов на полутоновых изображениях реальных объектов, полученных с помощью телекамеры. Целью исследований является подтверждение основных теоретических результатов и проверка работоспособности предложенных алгоритмов. Для проведения исследований использовались разработанное автором экспериментальное оборудование для калибровки телекамеры и экспериментальный робототехнический комплекс для получения изображений реальных объектов.

Вначале была произведена калибровка свето-сигнальной характеристики камеры. Для этого было изготовлено устройство, позволяющее равномерно изменять уровень освещенности сцены. На основе полученных изображений однотонного белого фона при разных уровнях освещенности удалось построить график зависимости между действительным уровнем освещенности сцены и его фактическим значением. Используя данную зависимость и методы, изложенные во второй главе, были подсчитаны необходимые параметры позволяющие компенсировать яркостные искажения, связанные с нелинейностью свето-сигнальной характеристики камеры.

Работоспособность предложенного алгоритма выделения контуров объектов была подтверждена при обработке пробного снимка протяженного металлического объекта (линейки) при неравномерной освещенности (рис. 6а).

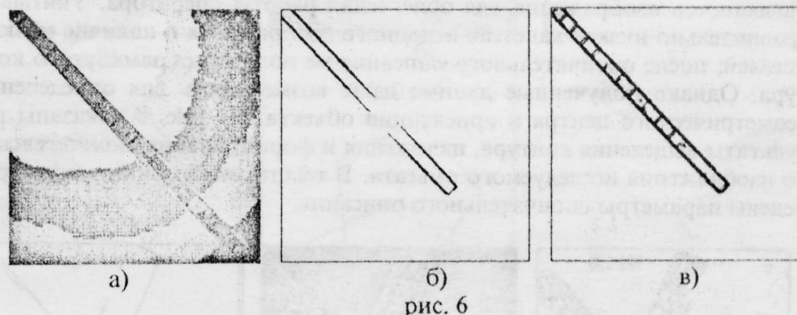
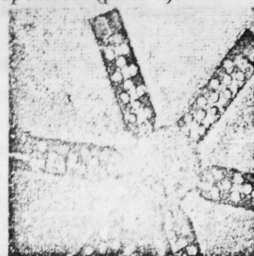


рис. 6

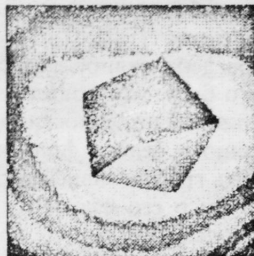
При выделения контура линейки с помощью стандартных алгоритмов фильтрации и выделения без предварительной компенсации яркостных помех неизбежно происходит потеря некоторого участка контура (рис. 6б), в то же время при использовании предложенных в данной работе алгоритмов, контур линейки выделяется полностью, что видно на рис. 6в.

В процессе экспериментальных исследований проверялась работоспособность алгоритмов как предварительной, так и окончательной об-

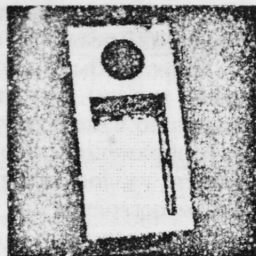
работки изображений объектов. Принципиальная работоспособность алгоритмов окончательной обработки в зависимости от размера, типа и угла наклона объекта была проверена в предыдущей главе. Поэтому для экспериментальных исследований были выбраны только три объекта сложной формы: мина при неравномерной освещенности, пирамида с нечетким внутренним контуром и технологическая деталь с круговым отверстием (рис. 7).



а)



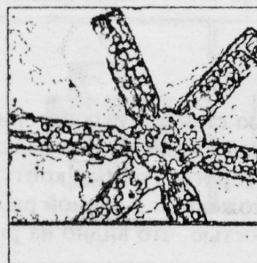
б)



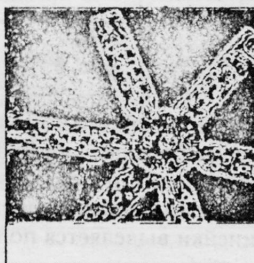
в)

рис. 7

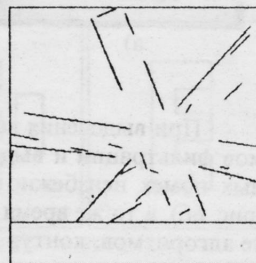
Как видно из рис. 7а освещенность мины такова что ее часть прикрыта тенью. Однако в результате использования разработанных алгоритмов контур мины выделяется целиком. С помощью наложения выделенного контура на исходное изображение можно существенно повысить наглядность изображения для облегчения работы оператора. Учитывая сравнительно низкое качество исходного изображения и наличие мелких деталей, после окончательного описания не получается замкнутого контура. Однако полученные данные дают возможность для определения геометрического центра и ориентации объекта. На рис. 8 показаны результаты выделения контура, наложения и формирования окончательного изображения исследуемого объекта. В тексте диссертации также приведены параметры окончательного описания.



а)



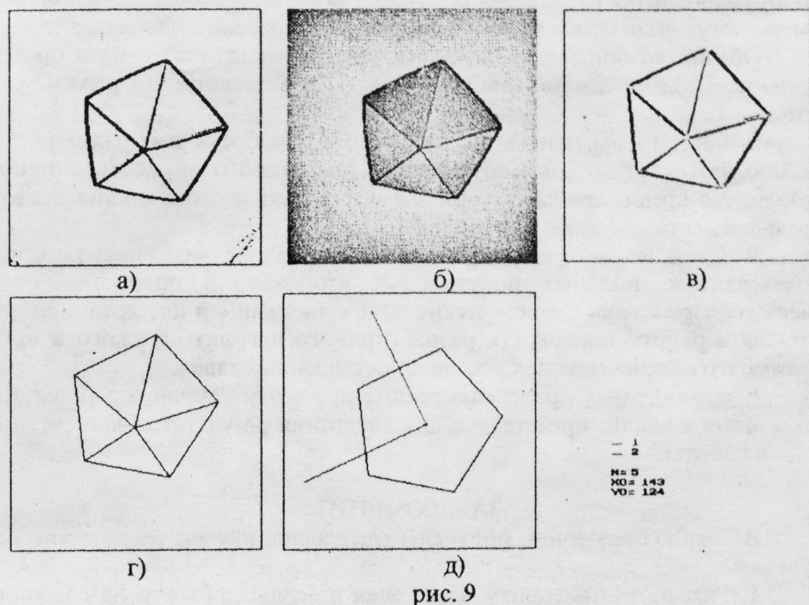
б)



в)

рис. 8

При обработке пирамиды исходным изображением для эксперимента является ее горизонтальная проекция (рис. 7б). На рис. 9а показано контурное изображение полученное в результате выделения контура пирамиды, а на рис. 9б результат его наложения на исходное изображение для предъявления оператору при супервизорном управлении роботом. Далее подробно рассматривается работа предложенных алгоритмов кодирования и сегментации для этого положения. Показано преимущество этих алгоритмов путем сравнения полученных результатов с результатами обработки стандартными методами. После сегментации и получения координат точек отдельных участков контура с помощью алгоритмов, приведенных в предыдущей главе, была проведена первичная аппроксимация участков контура (рис. 9в). На рис. 9г показаны результаты окончательного описания пирамиды, а в табл. 2 приведены параметры прямых описывающих внешний контур (в диссертации приведена табл. параметров всех контурных линий включая внутренние).



Таким образом получено точное описание контура пирамиды. Однако если для распознавания этого недостаточно, можно подсчитать ее геометрические параметры. Для этого сначала определяются отрезки, составляющие внешний контур пирамиды в соответствии с алгоритмом рассмотренным в главе 2 (рис. 9д). Далее подсчитываются такие пара-

метры как количество углов контура, его периметр, площадь, координаты центра объекта, величина максимального и минимального радиус-векторов, коэффициент формы и т. д.

Табл. 2

D	E	F	X1	Y1	X2	Y2
0.003787214	0.008052726	-1.000000000	74	88	158	49
0.015246362	-0.001792542	-1.000000000	74	88	86	175
-0.001165521	0.006280693	-1.000000000	86	175	173	191
0.003394486	0.002154042	-1.000000000	219	117	173	191
0.008862394	-0.008110595	-1.000000000	158	49	219	117

Если параметров внешнего контура недостаточно можно подсчитать параметры внутренних контуров или выполнить дополнительные съемки объекта с других точек. В качестве примера на рис. 9д показаны два таких направления. Эти направления могут быть использованы системой управления робота для получения дополнительных проекции, которые могут быть обработаны так же как было рассмотрено выше.

Обычно этой информации достаточно для распознавания и проведения необходимых манипуляции с объектом в автономном режиме работы.

В конце главы приведены результаты обработки изображения реального объекта с круговым отверстием, показанного на рис. 7в. Они показали, что предложенные алгоритмы могут быть использованы для работы с объектами сложной формы.

В целом можно утверждать, что проведенные эксперименты с использованием реальных полутоновых изображений полностью подтверждают основные теоретические положения данной диссертационной работы и работоспособность разработанного алгоритмического и программного обеспечения для решения поставленных задач.

В приложениях приведены тексты программ, таблицы с результатами исследований, представлен акт внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований получены следующие научно-технические результаты:

1. Разработан алгоритм выделения контуров объекта на сложном фоне при неравномерной освещенности.
2. Предложена методика определения типа контурного участка объекта.
3. Разработан единый алгоритм для аппроксимации участков сложного контура и последующей корректировки параметров этих участков.
4. Реализован алгоритм описания объекта на основе результатов аппроксимации отдельных участков контура.

5. Разработан алгоритм выделения объектов, лежащих сверху навала.

6. Для реализации предложенных алгоритмов разработано ПО.

7. Проведены моделирование и экспериментальные исследования с реальными объектами которые подтвердили работоспособность разработанных алгоритмов и программного обеспечения.

Таким образом разработанные для СТЗ универсальные алгоритмы и ПО, позволяют работать с неизвестными объектами сложной формы, с частичным перекрытием и при неравномерной освещенности.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

1. Габриелян А.Р., Михайлов Б.Б. Усовершенствованный алгоритм выделения кромок объектов // Экстремальная робототехника. VII Научно-техническая Конференция. -С-Пб., 1996, -С. 252-256.

2. Габриелян А.Р., Михайлов Б.Б. Алгоритмы выделения и описания контурных линии // Тез. докл. 14 Российской Научно-технической Конференции. Контроль и диагностика. -М., 1996. -С. 315.

3. Габриелян А.Р., Заединов Р.В., Михайлов Б.Б. Идентификация объектов и определение их пространственного положения с помощью бортовой системы технического зрения // Экстремальная робототехника. Тез. докл. IX Научно-технической Конференции. -С-Пб., 1999, -С. 227-229.