



005006004

На правах рукописи

Малышев Олег Владимирович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ И
РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
НА ОСНОВЕ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и
обработка информации (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

22 ДЕК 2011

Рыбинск – 2011

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева».

Научный руководитель:

кандидат технических наук
Хмаров Игорь Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Баранов Александр Владимирович

кандидат технических наук
Тихомиров Илья Александрович

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Защита диссертации состоится 30 декабря 2011 года в 12 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.210.04 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева» по адресу: 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А.Соловьева»

Автореферат разослан 29 ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Конюхов Б.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшими областями применения радиолокационных и оптико-электронных систем (ОЭС) является обнаружение и последующее сопровождение летательных аппаратов (ЛА). Задача обнаружения ЛА решается на этапе предварительной обработки радиолокационных и оптических сигналов фоновой обстановки. При последующей обработке радиолокационных и оптических сигналов с целью организации работы систем сопровождения решается задача определения пространственного положения ЛА. Важной задачей обработки радиолокационных и оптических сигналов является задача распознавания типов ЛА в полете на фоне небосвода. Традиционно решение задачи распознавания заключается в построении эталонов и решающих правил, позволяющих с требуемой вероятностью отнести изображение реального объекта к одному из заданных классов. Значительный вклад в создание радиолокационных и ОЭС, развитие дистанционных методов обнаружения объектов, методов и средств обработки изображений и распознавания образов внесен специалистами ЦАГИ (г. Москва), ЛИИ им. М.М. Громова (г. Москва), ГОИ им. С.И.Вавилова (г. Санкт-Петербург), НИИКИ ОЭП (г. Сосновый Бор), НПО «Геофизика» (г. Москва), ЦНИИ машиностроения (г. Королев), НИЦ ПВО (г. Тверь) 4ЦНИИ Минобороны России, ИСОИ РАН (г. Самара), ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (г. Москва), и ряда других НИУ РАН, промышленности и МО РФ. Разработанный коллективами данных организаций научно-методический аппарат позволяет оптимизировать параметры радиолокационной и оптико-электронной аппаратуры и разрабатывать алгоритмы ее функционирования с учетом целевого назначения.

Вследствие развития ЛА и наземных средств поражения становится актуальной задача определения трех линейных координат центра и трех угловых координат (рыскания, тангажа и крена) поворота связанной системы координат ЛА. Полное решение задачи определения пространственного положения ЛА требуется при решении задачи распознавания типов ЛА и решении задачи определения наиболее уязвимых элементов конструкции ЛА. Кроме того, полное решение задачи определения пространственного положения необходимо для получения информации о параметрии ЛА по видеозаписи его полета и при решении задачи калибровки многоканальной ОЭС пассивной радиолокации.

Существующие методы (радиолокация, лазерный дальномер, стереопара и системы машинного зрения) не дают полного решения задачи определения пространственного положения. Это позволяет сделать вывод об актуальности разработки метода определения шести обобщенных координат пространственного положения ЛА на основе обработки информации, получаемой из пассивного оптического канала.

Цели работы. На основе обработки изображений, полученных из оптического канала ОЭС, разработать:

1. Метод определения пространственного положения ЛА известного типа.
2. Алгоритм определения элементов конструкции ЛА известного типа.
3. Алгоритм распознавания типа ЛА из заданного базового набора.

Направление исследований. Развитие дистанционных методов обнаружения объектов, определения их пространственного положения, обработки изображений и распознавания образов на основе контурного анализа.

Методы исследований. В диссертации при разработке алгоритмов определения пространственного положения и распознавания ЛА используются общие методы системного анализа, методы теории аппроксимации, теории графов, выпуклого анализа, кусочно-линейной и вычислительной геометрии, дискретной математики.

Обоснованность полученных результатов базируется на использовании основных принципов системного подхода при постановке научной задачи; ее декомпозиции и разработке методов их решения; учете современных представлений о методах обработки информации, влияющих на эффективность ОЭС при решении прикладных задач; использовании значительного объема экспериментальных натурных исследований, расчетных методов и имитационного моделирования с привлечением современных вычислительных средств.

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточной для практики сходимостью теоретических расчетов с данными имитационного моделирования и с экспериментальными данными, полученными на реальных объектах и трассах; правильным согласованным выбором исходных данных и условий, принятием допущений и ограничений, имеющих наглядную физическую интерпретацию; решением модельных задач и сравнением полученных результатов с известными ранее или полученными другими методами; согласованностью результатов с ведущими НИУ МО РФ и организациями промышленности, которые получены с использованием изложенного в диссертации научно-методического аппарата.

Положения, выносимые на защиту.

1. Метод определения трех линейных и трех угловых координат пространственного положения ЛА известного типа, основанный на вычислении шести наблюдаемых параметров по внешнему контуру реального изображения ЛА.
2. Обоснование формулы определения расстояния до объекта из асимптотических оценок точности решения задачи определения пространственного положения.
3. Алгоритм построения древовидной структуры контуров границ яркостей на основе спектральных характеристик монохромных изображений.
4. Алгоритм распознавания элементов конструкции ЛА известного типа на основе разделения ракурсов.

5. Алгоритм распознавания ЛА на фоне небосвода, основанный на решении задачи определения пространственного положения для каждого типа ЛА из заданного базового набора.

Научная новизна.

1. Метод определения шести обобщенных координат ЛА известного типа, основанный на обработке одного двумерного изображения.
2. Алгоритм определения элементов конструкции ЛА известного типа, основанный на методе определения пространственного положения.
3. Алгоритм распознавания типов ЛА из заданного базового набора на основе контурного анализа.

Практическая полезность. Алгоритмы, изложенные в работе, были программно реализованы и позволили усовершенствовать процесс калибровки и проверки в полевых условиях многоканальной ОЭС.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на конференциях и совещаниях: XXXII Гагаринские чтения, XL Военно-научная конференция ВА ВКО им. Г.К. Жукова (г. Тверь), Военно-научный комитет космический войск (г. Москва), НИЦ ПВО (г. Тверь) 4 ЦНИИ МО РФ, 54-ая научная конференция МФТИ (г. Москва).

Реализация результатов исследований. Результаты и рекомендации, разработанные и предложенные автором, использовались при проведении исследований в следующих организациях:

1. НИЦ ПВО (г. Тверь) 4ЦНИИ Минобороны России (2009-2011г.г.) – при проведении НИОКР по темам: «Растр-8ЦН», «Заметность-Т» и др., выполненных по заказам Минобороны России.
2. ЗНП АО «Отделение ПВЭ и Ф» (2011г.) - при проведении научно-исследовательских и испытательных работ по теме «Барнаул-Т», выполненной по заказу Минобороны России.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в семи печатных работах, в том числе трех статьях в журналах, рекомендованных перечнем ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (99 наименований). Общий объем диссертации - 157 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 82 рисунка и 21 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, дано краткое изложение содержания и сформулированы результаты, выносимые на защиту.

В первой главе дается обзор литературы, методов и алгоритмов, решающих задачи определения пространственного положения и распознавания, а

Математическую модель съемки проективной камерой формируют следующие условия. Точки пространства, направляемые в одну точку фотоприемной матрицы (ФПМ), лежат на одной прямой. Все такие прямые пересекаются в одной точке - оптическом центре S . Оптический центр S лежит на перпендикуляре, построенном к центру ФПМ - оптической оси L . Важной характеристикой оптической системы является фокусное расстояние F - расстояние от ФПМ до S вдоль L . Изображение объекта формируется как центральная проекция из оптического центра S на плоскость ФПМ, изображенной на рис. 1 в виде прямоугольника.

В формальной постановке задачи определение пространственного положения ЛА сводится к определению трех линейных координат центра X, Y, Z и трех углов поворота ψ, ϑ, γ рыскания, тангажа и крена, задающих положение связанной системы координат ЛА $0_p X_p Y_p Z_p$ в абсолютной системе координат $0_v X_v Y_v Z_v$, расположенной в центре ФПМ, как на рис. 1.

Во второй главе излагается метод определения пространственного положения ЛА, делаются теоретическое и экспериментальное обоснования метода и даются приложения метода к решению задач определения параметрии полета.

Метод определения пространственного положения ЛА тестировался на базовом наборе из 14 ЛА, представленном в табл. 1.

Таблица 1

Базовый набор ЛА

N	Модель	N	Модель	N	Модель	N	Модель	N	Модель	N	Модель
1	F-14	5	A-10	6	F-22	8	AGM-129	10	GlobH	12	Миг-29
2	F-15			7	F-35	9	BGM-109	11	PredB	13	Су-25
3	F-16									14	Су-30
4	F-18										

Внешний облик базовых ЛА показан на рис. 2.

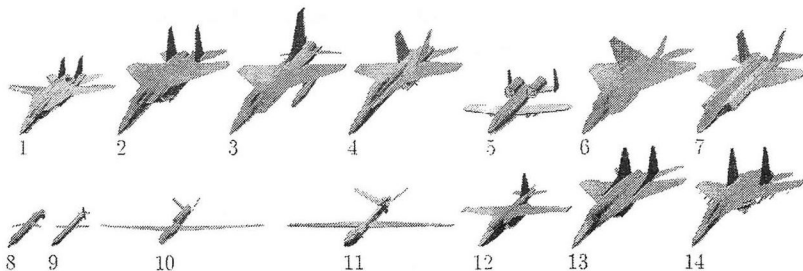


Рис. 2. Внешний облик базовых ЛА

Решение задачи определения пространственного положения ЛА сводится к определению по внешнему контуру G изображения ЛА шести параметров, через которые однозначно вычисляются шесть обобщенных координат. Такими

шестью параметрами являются пиксельные координаты (x, y) точки пересечения прямой, проходящей через точки C и O_p , углы поворота k, t, r вокруг осей $O_p X_p, O_p Z_p, O_p Y_p$ и расстояние ρ между точками C и O_p .

Углы поворота k, t, r отличаются от традиционно используемых углов поворота ψ, ϑ, γ обратным порядком выполнения. Определение углов поворота k, t, r осуществляется в результате совмещения реального контура с эталонными контурами из непрерывного 2-параметрического семейства по метрике Никодима.

Для построения эталонных контуров устанавливается характерное фокусное расстояние $F = F_0$, центр O_p цифровой модели ЛА помещается на оптическую ось L на характерном расстоянии $\rho = \rho_0$ от оптического центра C и фиксируется угол $k = 0$. В качестве эталонных контуров $\Gamma(r, t)$ берутся внешние контуры проекций цифровой модели ЛА на ФПМ для углов (r, t) из прямоугольника $Q = [-180, 180] \times [-90, 90]$. При записи эталонных контуров изменять угол k не требуется, поскольку при указанном расположении центра цифровой модели поворот на угол k поворачивает изображение ЛА как твердое тело.

Параметры ρ, x, y, k, t, r будем называть наблюдаемыми. Вектор обобщенных координат ЛА очевидным образом вычисляется через вектор наблюдаемых параметров. Изложим метод определения наблюдаемых параметров по внешнему контуру G изображения ЛА на ФПМ.

В качестве оценки точки (x, y) проекции центра ЛА принимается центр масс области, заключенной внутри контура G . В точке (x, y) строится вспомогательная система координат $O'X'Y'Z'$, показанная на рис. 1. При помощи центральной проекции из оптического центра C контур G переносится с плоскости $O_p Y_p Z_p$ на плоскость $O'Y'Z'$. Проекция контура G на $O'Y'Z'$ обозначается через G' .

Определение углов поворота r, t, k основано на минимизации невязки площадей между реальным и эталонными контурами по метрике Никодима.

Положим $\lambda = \text{diam} G' / \text{diam} \Gamma(r, t)$. Сдвинем центр масс контура $\lambda \Gamma(r, t)$ для его совмещения с центром масс контура G' . Повернем контур $\lambda \Gamma(r, t)$ вокруг его центра масс на угол k и обозначим через $\mu(r, t, k)$ расстояние по метрике Никодима

$$\mu(G_1, G_2) = 1 - S(G_1 \cap G_2) / S(G_1 \cup G_2)$$

между реальным контуром G' и преобразованным растяжением, сдвигом и поворотом на угол k контуром $\Gamma(r, t)$.

Значения углов поворота r, t, k , задающих ориентацию ЛА, определяются из минимизации величины $\mu(r, t, k)$, где перебор по параметрам r, t осуществляется на основе ε -сети эталонных контуров $\Gamma(r, t)$, а перебор по параметру k

осуществляется по вершинам выпуклых оболочек реального и эталонного контуров.

Расстояние ρ вычисляется через x, y, r, t по формуле

$$\rho = \frac{F'(x, y) \operatorname{diam} \Gamma(r, t)}{F_0 \operatorname{diam} G} \rho_0,$$

получаемой из соображений подобия.

В рамках теоретического обоснования метода определения пространственного положения, в диссертационной работе проанализирована возможность точного и асимптотически точного решения задачи. В случае точного решения минимальная размерность семейства эталонных изображений равна трем. При этом фиксируются параметры $x = y = k = 0$, а изменяются три параметра r, t, ρ . В случае асимптотически точного решения минимальная размерность семейства эталонных изображений равна двум. При этом фиксируются параметры $x = y = k = 0$, изменяются два параметра r, t . Основой асимптотически точного решения является следующая оценка для расстояния

$$\sqrt{2WFR} \leq \rho,$$

где W — число столбцов ФПМ, F — безразмерная величина, равная отношению фокусного расстояния к линейной длине фотоприемной матрицы по горизонтали, R — максимальное отклонение точек ЛА от начала связанной системы координат. В диссертации доказано, что при выполнении этого неравенства отклонение центральной проекции относительно ортогональной проекции не превышает одного пикселя. Именно это позволяет при практическом решении задачи определения пространственного положения фиксировать параметр ρ на характерном расстоянии ρ_0 .

В рамках экспериментального обоснования метода определения пространственного положения была осуществлена проверка точности решения задачи средствами математического моделирования, испытаний в лабораторных условиях на базе имеющихся физических моделей и полевых испытаний по тематике Растр-8ЦН. В результате проверки метода на уровне математического моделирования выяснено, что при уменьшении диаметра внешнего контура изображения ЛА менее 30-40 пикселей (в зависимости от ракурса) метод теряет работоспособность. При диаметре больше указанной границы точность измерений существенно зависит от ракурса изображений ЛА. Максимальная точность достигается на видах снизу-сверху, средняя точность достигается на видах слева-справа, минимальная точность достигается на видах спереди-сзади. При натурных испытаниях осуществлялась проверка точности определения углов ориентации и расстояния. В различных экспериментах средняя точность определения угловых координат изменялась в пределах 10-15 градусов, с максимальными отклонениями в пределах 20-25 градусов. Относительная точность определения расстояния составляет 10-15%.

Задачу определения пространственных положений проиллюстрируем видеозаписью полета ЛА модели F-22. По характеру движения полет делится на три части: горизонтальный прилет, уход с резким набором высоты и бочка на финальной стадии ухода. Фрагмент видеозаписи содержит 321 кадр с номерами n от 3'170 до 3'490 среднего качества, когда ЛА имеет достаточно контрастное изображение, а диаметр внешней границы меняется в пределах от 50 до 150 пикселей. На рис. 3 сверху даны отдельные кадры полета ЛА. Белыми отрезками показаны орты связанной системы координат, установленные в результате решения задачи определения пространственного положения. На рис. 3 снизу даны соответствующие виртуальные изображения ЛА в абсолютной системе координат ФПМ.

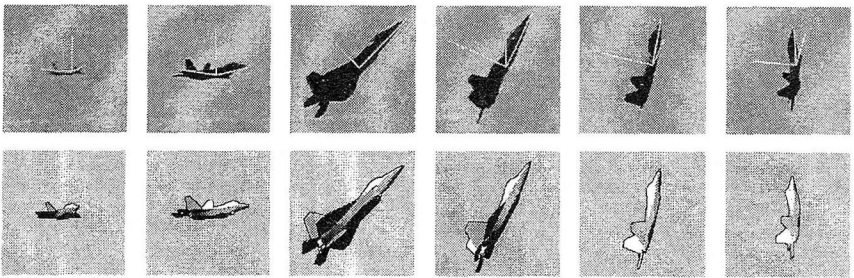


Рис. 3. Пример решения задачи определения положения

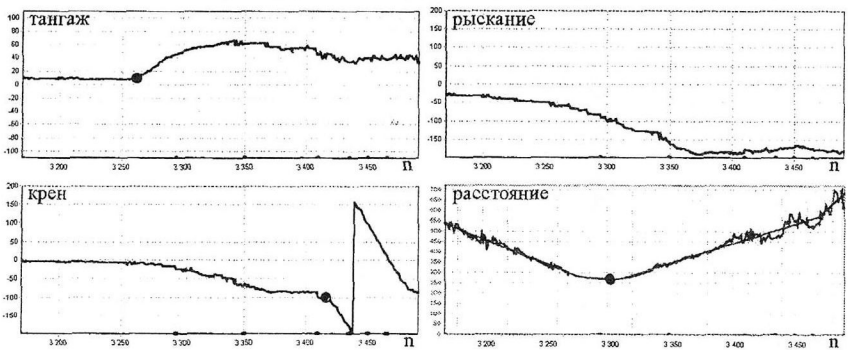


Рис.4. Графики тангажа, крена, рыскания и условного расстояния

На рис. 4 даны графики тангажа, крена, рыскания и условного расстояния до объекта, полученного для фокусного расстояния $F=3$. На графике тангажа отмечено начало выполнения ухода. На графике крена отмечено начало выполнения бочки. На графике расстояния отмечена точка минимального расстояния. Для графика расстояния построена наилучшая среднеквадратическая аппроксимация с ограничением на монотонность и выпуклость. Невязка между графиком расстояния и аппроксимирующей ломаной дает косвенную оценку точно-

сти определения расстояния. В рассматриваемом примере среднее значение относительной величины невязки оказалось равным 3%, а максимальное значение относительной величины невязки оказалось равным 11%.

В третьей главе излагается алгоритм построения границ яркостей с целью выделения внешнего контура ЛА на реальных изображениях, алгоритм распознавания элементов конструкции ЛА на основе разделения ракурсов и алгоритм распознавания типов ЛА на основе решения задачи определения пространственного положения.

С целью разделения ракурсов ЛА разобьем прямоугольник $Q = [-180, 180] \times [-90, 90]$ на зоны. В белые зоны ракурсов спереди-сзади включим точки $(r, t) \in Q$, для которых проекция точки носа ЛА находится внутри выпуклой оболочки эталонного контура $\Gamma(r, t)$. В темно-серые зоны ракурсов справа-слева включим точки $(r, t) \in Q$, для которых проекция точки носа находится вне выпуклой оболочки контура $\Gamma(r, t)$, а проекция концевой точки правого крыла или проекция концевой точки левого крыла находится внутри выпуклой оболочки контура $\Gamma(r, t)$. В светло-серые зоны ракурсов сверху-снизу включим остальные точки $(r, t) \in Q$. Идеальное разбиение ракурсов для ЛА модели F-15 показано на рис. 5 слева.

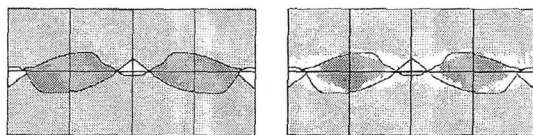


Рис. 5. Идеальное и реальное разделения ракурсов

На реальных изображениях ракурсы разделяются при помощи минимальных по площади треугольника и параллелограмма реального контура G изображения ЛА, как на рис. 6.

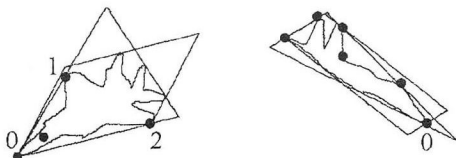


Рис. 6. Минимальный треугольник и параллелограмм

Реальное разбиение ракурсов для ЛА модели F-15 показано на рис. 6 справа.

На ракурсах сверху-снизу определяются опорные точки 0, 1, 2 носа и размахов крыла, как слева на рис. 6. Кроме того, вычисляется опорная точка фонаря пилота. На ракурсах справа-слева определяется опорная точка 0 носа, как справа на рис. 6. Кроме того, определяется опорная точка фонаря пилота,

опорные точки вертикальных и горизонтальных оперений и опорные точки в заделках вертикальных оперений.

Распознавание элементов конструкции ЛА осуществляется по опорным точкам. Например, распознавание элементов конструкции ЛА модели F-15 при выполнении четверти бочки показано на рис. 7. На первых четырех кадрах определяются опорные точки для ракурса справа-слева. На пятом кадре контур ЛА попадает в буферную зону. На последних пяти кадрах определяются опорные точки для ракурса сверху-снизу.

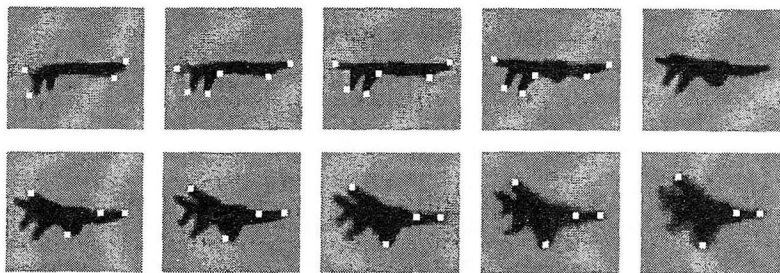


Рис. 7. Распознавание элементов конструкции

Распознавание базовых моделей ЛА и их классов на динамических изображениях осуществляется по принципу совмещения реального контура с эталонными. Совмещение реального контура с эталонными происходит в результате решения задачи определения положения ЛА для каждой базовой модели. В качестве меры близости контуров берется относительная невязка площадей μ по метрике Никодима. В качестве решающего правила распознавания берется минимум невязки μ . На рис. 8 дано изображение реального ЛА и его контур G .

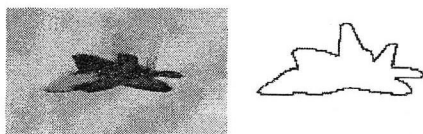


Рис. 8. Изображение ЛА и его контур G

Невязки реального контура G с эталонными контурами базовых моделей, выраженные в процентах, даны в табл. 2.

Таблица 2

Невязки реального контура с эталонными

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
μ	35	33	35	31	36	16	34	37	39	43	56	30	33	29

Из табл. 2 следует, что невязка площадей μ принимает минимальное значение $\mu=16$ для номера $n=6$. Поэтому по принятому решающему правилу данный объект правильно распознается как ЛА модели F-22 из класса 3. Слева на рис. 9

показано взаимное расположение реального контура G с эталонным контуром модели F-22. В центре и справа на рис. 9 для сравнения показано взаимное расположение реального контура G с эталонными контурами модели Миг-29 с номером $n = 12$ и модели F-18 с номером $n = 4$.

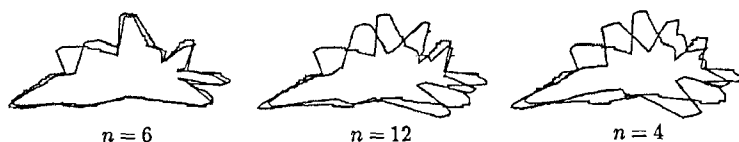


Рис. 9. Совмещение реального и эталонных контуров

Моделирование работы системы распознавания проводилось для ЛА, показанных на рис.2. Процесс моделирования заключался в постановке ЛА на определенной условной дальности от 200 (диаметр объекта порядка 160 пикселей для типа 2) до 1700 (диаметр объекта порядка 20 пикселей для объекта типа 2) на случайное место ФПМ. Количество испытаний для каждой дальности и каждого типа составило 1000-1200. Число экспериментов выбиралось таким образом, чтобы можно было объективно оценить распознавание типа для всех ориентаций ЛА. В результате была выявлена четкая зависимость между вероятностью правильного распознавания и размером объекта. Общая зависимость для некоторых типов из рис. 2 показана в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость правильного распознавания от размера объекта

Размер (пикс)	F-15, %	F-16, %	A-10, %	Sy-25, %
160	98,3	99,8	99,9	99,7
80	92,9	96,8	99,7	96,1
45	85,3	92,6	97,6	90,8
32	76,6	81,5	94,8	86,4
22	54,4	57,7	90,4	76,1

Очевидно, что вероятность правильного распознавания зависит не только от расстояния до объекта, но и от сложности его формы, так ЛА типа А-10 очень сильно отличается от других ЛА, что наглядно следует из табл. 3. Данные моделирования были проверены на 20 проводках различных типов ЛА.

Вероятность правильного распознавания может быть повышена за счет использования результатов работы на отрезках последовательно идущих кадров. Вероятность правильного распознавания зависит от длины таких отрезков и может быть оценена в рамках схемы испытаний Бернулли. В данном случае в качестве i -го испытания подразумевается распознавание на i -ом кадре отрезка, а под вероятностью успеха подразумевается вероятность правильного распознавания. Схема испытаний Бернулли позволяет сформулировать решающее правило распознавания на отрезках: если на отрезке последовательно идущих

кадров длины Δ класс с номером n распознается чаще, чем все остальные, то на этом отрезке объект распознавания относится к классу с номером n .

Продemonстрируем повышение вероятности правильного распознавания классов ЛА на примере видеозаписи реального полета ЛА модели F-22 из класса 3. Видеозапись длится 28 сек и включает 701 кадр. Диаметр ЛА меняется в пределах от 40 до 200 пикселей. Из 701 кадра видеозаписи правильное распознавание на отдельных кадрах осуществляется на 626 кадрах, что составляет 89.3% от общего количества. Отметим, что в матрице перепутывания классов соответствующее значение равно 93.3%. Дополнительно отметим, что ЛА ошибочно распознается на 50 кадрах как объект класса 1, на 3 кадрах как объект класса 2, на 2 кадрах как объект класса 3 и на 1 кадре как объект класса 6. С целью повышения вероятности распознавания воспользуемся табл. 4, связывающей невязку μ с длиной Δ .

Таблица 4

Таблица длин и невязок

μ	10	15	20	25	35
Δ	1	5	9	17	25

В результате 701 кадров видеозаписи оказались разбиты на 187 отрезков распознавания различной длины. Из 187 отрезков распознавания ЛА правильно распознается на 181 отрезке, что составляет 96.8% от общего числа. При этом ЛА ошибочно распознается на 6 отрезках как объект класса 1. Средняя длина отрезков распознавания оказалась равной 3.74 кадра, а максимальная длина оказалась равной 36 кадров. Предлагаемый способ распознавания на отрезках позволил повысить вероятность правильного распознавания с 89.3% до 96.8% при среднем числе 4 кадров на отрезке.

В четвертой главе рассматривается программная реализация комплекса по определению пространственной ориентации ЛА, распознаванию типа ЛА и определению элементов конструкции. Программный комплекс способен функционировать в двух режимах: автоматическом, когда все действия происходят без участия оператора, и автоматизированном, когда оператор имеет возможность исправить некоторые результаты работы автоматического режима. Сведем основные задачи комплекса в табл. 5.

Таблица 5

Основные задачи программного комплекса

Задача	Автоматический режим	Ручной режим
Выделение контура объекта	Есть	Есть
Определение положения объекта	Есть	Есть
Распознавание типа ЛА	Есть	Нет
Определение элементов конструкции ЛА	Есть	Нет

Отсутствие ручного режима в задачах распознавания и определения элементов конструкции связаны со спецификой данных задач, которая требует решения задачи без участия оператора.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, можно сформулировать следующим образом:

1. Разработан метод определения трех линейных и трех угловых координат пространственного положения ЛА известного типа через шесть наблюдаемых параметров, вычисляемых по внешнему контуру реального изображения ЛА, с точностью по угловым координатам порядка 5 градусов на близких и 10-15 градусов на дальних расстояниях.

2. Получена явная формула определения расстояния до объекта через четыре наблюдаемые параметра с относительной погрешностью порядка 10-15%.

3. Разработан алгоритм построения структуры контуров границ яркостей монохромных изображений.

4. Сделан анализ среднего числа вершин выпуклых оболочек на изображениях, что позволяет оценить целесообразность применения инвариантов, основанных на выпуклых оболочках. Среднее число вершин выпуклой оболочки контура реального изображения примерно равно 11.

5. Разработан алгоритм распознавания элементов конструкции ЛА известного типа на основе разделения ракурсов.

6. Разработан алгоритм распознавания ЛА на фоне небосвода, основанный на решении задачи определения пространственного положения для каждого типа ЛА из заданного базового набора. Вероятность распознавания колеблется от 99%, когда размер объекта превышает 160 пикселей до 54%, когда размер объекта 25 пикселей. В среднем метод дает приемлемые результаты по вероятности распознавания, когда размер объекта более 35 пикселей.

7. Сделан вывод, что предварительное совмещение выпуклых оболочек существенно ускоряет процесс последующего совмещения контуров сложной геометрической формы в задачах переборного характера. Так, для задачи определения пространственного положения, использование выпуклой оболочки сокращает число затратных по времени операций пересечения контуров с 15000-20000 до 10-15.

8. Проведенные исследования показали эффективность контурного анализа для работы с объектами сложной геометрической формы в случае, когда контур не подвергается существенным деформациям.

Список основных публикаций

Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ

1. Малышев О. В. Структура и алгоритмы построения границ яркостей фигур изображения [Текст] / Малышев О. В. // Вестник Рыбинской государствен-

ной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева : научный журнал. Рыбинск: РГАТА, 2011.- №1(19). - С. 145-151.

2. **Малышев О.В.** Алгоритмы выделения и распознавания находящихся на земле самолетов по результатам их космической фотосъемки [Текст] / Малышев О.В., Хмаров И.М., Кондрашов Н.Г. // Вестник московского авиационного института : научный журнал. Москва: МАИ, 2011.- №1. - С.142-149.

3. **Малышев О.В.** Определение пространственных положений летательных аппаратов по их двумерным динамическим изображениям [Текст] / Малышев О.В., Вишняков А.С., Хмаров И.М., Кондрашов Н.Г. // Вестник Московского авиационного института : научный журнал. Москва: МАИ, 2011.-№4.- С.93-101.

Материалы конференций

4. **Малышев О.В.** Классификация видимых сегментов самолетов для космических изображений [Текст] / Малышев О.В. // XXXII Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодежной НТК – Москва : МАТИ, 2009. – том 8. - С. 64-65.

5. **Малышев О. В.** Распознавание летательных аппаратов и элементов их конструкций на фоне небосвода по двумерным оптическим изображениям [Текст] / Малышев О. В., Хмаров И. М., Золотухин В.К. // Материалы XL военно-научной конференции ВА ВКО им. Г.К.Жукова. Секция №8: Проблемы локационной системотехники – Тверь, 2011. - С. 85-95.(МО РФ).

6. **Малышев О.В.** Синтез фотореалистических изображений и определение пространственных положений летательных аппаратов в оптико-электронных системах [Текст] / Агафонова Е.А., Малышев О.В. // Труды 54-й научной конференции МФТИ. Факультет радиотехники и кибернетики – Москва : МФТИ, 2011.- том 2. - С. 25-26.

Свидетельства

7. **Малышев О.А., Хмаров И.М., Вишняков А.С., Прохоров А.В.** Математическая модель оценки дальности действия оптико-электронной системы, включающей широкоугольный и узкопольный пассивные каналы и лазерный дальномер. РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2011617470 от 23.09.2011

Зав. РИО М. А. Садкова

Подписано в печать 29.11.2011.

Формат 60×84 1/16. Уч.-изд.л. 1. Тираж 100. Заказ 91.

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева (РГАТУ имени П. А. Соловьева)

Адрес редакции: 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53

Отпечатано в множительной лаборатории РГАТУ имени П. А. Соловьева
152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53