

УДК 378; 621.3.049.77

## Целевая подготовка специалистов по системам технического зрения для предприятий авиационной промышленности

Дубков М. В.<sup>1</sup>, Костров Б. В.<sup>1</sup>, Логинов А. А.<sup>1</sup>,

[\\*nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru](mailto:nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru)

Муратов Е. Р.<sup>1</sup>, доцент Никифоров М. Б.<sup>1,\*</sup>,

Новиков А. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Рязань, Россия

В рамках международного научного конгресса "Наука и инженерное образование. SEE-2016", II международная научно-методическая конференция «Управление качеством инженерного образования. Возможности вузов и потребности промышленности» (23-25 июня 2016 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия).

---

Многолетняя практика трудоустройства выпускников вузов на промышленные предприятия показывает, что в течение первого года, а порой и двух, ему приходится осваивать новые специфические области знаний. Преподавание этих дисциплин в вузе в рамках основной образовательной программы ограничено допустимой нагрузкой на студента и вряд ли целесообразно из-за узкой специфики. Более детальная подготовка возможна для студентов, обучающихся по целевому направлению предприятий, когда известна их будущая специализация. По программе детальной подготовки в РГРТУ обучаются 73 человека по проектам совместно с Акционерным обществом «Государственный Рязанский приборный завод» (АО «ГРПЗ», г. Рязань) и с Акционерным обществом «Плазма» (АО «Плазма», г. Рязань). В статье в качестве примера детально рассматривается целевая подготовка специалистов по системам технического зрения для предприятий авиационной промышленности в рамках образовательного модуля «Многоспектральные системы технического зрения авиационного применения».

**Ключевые слова:** системы технического зрения, оборонно-промышленный комплекс, целевая подготовка, авиационная промышленность, структура и содержание программ целевой подготовки

---

### Введение

Многолетняя практика трудоустройства выпускников вузов на промышленные предприятия и анализ процесса «вживания» молодого специалиста в производственный процесс показывает, что в течение первого года, а порой и двух, ему приходится осваивать новые специфические области знаний. Преподавание этих дисциплин в вузе в рамках основной образовательной программы ограничено допустимой нагрузкой на студента и вряд ли целесообразно из-за узкой специализации. Более детальная подготовка возможна для студентов, обучающихся по целевому направлению предприятий, когда известна их будущая специализация.

Рязанский государственный радиотехнический университет вошел в число победителей конкурса на предоставление поддержки программ развития системы подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса в образовательных организациях высшего образования, подведомственных Министерству образования и науки Российской Федерации. В соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29 июля 2015 года №787 по этой программе в РГРТУ обучаются 73 человека.

На конкурс было заявлено 14 проектов, в том числе 13 проектов совместно с Акционерным обществом «Государственный Рязанский приборный завод» (АО «ГРПЗ», г. Рязань) и 1 проект совместно с Акционерным обществом «Плазма» (АО «Плазма», г. Рязань).

### **Задачи и методы решения**

Рассмотрим структуру и основные компоненты целевой подготовки специалистов по одному из 14 проектов – «Подготовка высококвалифицированных специалистов в области разработки многоспектральных систем технического зрения авиационного применения» в рамках образовательного модуля «Многоспектральные системы технического зрения авиационного применения». Он включает в себя следующие дисциплины:

- Органы технического зрения летательных аппаратов;
- Аппаратно-программные методы улучшения изображений;
- Методы визуализации изображений на бортовых мониторах пилота;
- Алгоритмические основы совмещения изображений различной физической природы;
- Корреляционно-экстремальные навигационные системы;
- Методы обнаружения и распознавания подвижных и стационарных объектов;
- Нашлемные системы отображения закабинной информации и знакографии;
- Проектирование аппаратных систем обработки изображений в реальном времени;
- Производственная практика.

Для каждого направления по всем дисциплинам образовательных модулей разработаны комплекты учебной документации (учебные планы, рабочие программы и графики учебного процесса), а также комплекты методического обеспечения (учебные пособия, методические указания к лабораторным работам).

Подготовка специалистов в рамках дополнительного целевого образования проводится на 3 и 4 курсах. К этому моменту студентами названных выше направлений и специальностей изучены все общенаучные дисциплины базового естественнонаучного цикла (математика, физика, информатика и др.). Студенты имеют опыт выполнения курсовых работ, написания программ. Все это позволяет планировать и реализовывать учебный процесс в рамках дополнительной подготовки с высоким уровнем интенсивности изучения нового материала и при активной самостоятельной работе студентов. Отметим, что лекции и лабораторные занятия ведут преподаватели и научные работники, занимающиеся непосредственно разработкой интеллектуальных систем технического зрения (СТЗ) для

авиационной промышленности. Поэтому на всех видах занятий изучаются самые современные методы решения многочисленных задач, входящих в состав авиационных СТЗ.

Продолжим более детальное рассмотрение целевой подготовки специалистов по системам технического зрения для предприятий авиационной промышленности в рамках образовательного модуля «Многоспектральные системы технического зрения авиационного применения». В результате изучения всех дисциплин данного модуля студент должен иметь четкое представление о структуре и задачах, решаемых в многоспектральных СТЗ, знать и уметь самостоятельно работать с известными математическими моделями и их программными реализациями, а также уметь создавать свои оригинальные программные средства по новым алгоритмам.

В качестве типовой модели образовательного процесса по всем дисциплинам этого модуля выбрана схема с двумя компонентами: лекции и лабораторные работы. Завершается изучение дисциплины зачетом и (или) экзаменом. В базовом варианте на изучение каждой из 8 дисциплин модуля отводится 16 часов на лекции и 20 часов на лабораторные работы. Лекции проводятся еженедельно по 2 академических часа, а лабораторные работы – 5 раз в семестре, каждая по 4 часа.

Приведем в качестве примера перечень и основное содержание лекций и лабораторных работ по дисциплине «Алгоритмические основы совмещения изображений различной физической природы». Одним из наиболее сложных этапов полета воздушного судна является этап посадки, особенно в неблагоприятных погодных условиях. Об этом свидетельствуют, в частности, неоднократные авиационные катастрофы последних лет. Совмещение реального изображения (плохо видимого) с виртуальным изображением, сформированным по цифровой карте местности, позволяет повысить осведомленность пилотов воздушного судна о закабинной обстановке и, как следствие, повышает вероятность безаварийного полета.

#### **Перечень и содержание лекций:**

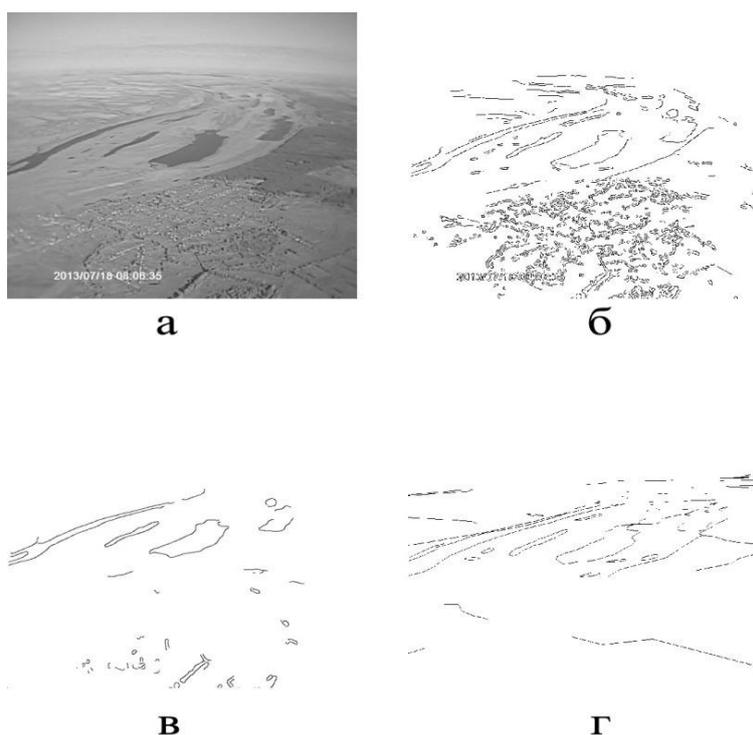
ЛК1- Задачи цифровой обработки изображений (Классификация изображений, задачи цифровой обработки, фильтрация изображений) – 2 часа;

Основой для этой лекции служит материал коллективной монографии [1].

ЛК2 – Методы выделения границ перепада яркости (классификация методов, градиентные методы – теоретические основы и основные масочные операторы) – 2 часа;

Реальные изображения, получаемые от сенсоров технического зрения, устанавливаемых на борту летательного аппарата, в общем случае содержит множество особенностей на подстилающей поверхности. Это и складки земной поверхности, компактные, четко очерченные лесные насаждения, водные объекты, элементы инфраструктуры и т.д. Однако для последующей обработки и совмещения изображений интерес представляют только объекты постоянного присутствия на поверхности Земли, такие как линия горизонта, гидро- и дорожная сети и др. Контуры остальных малозначимых объектов требуется исключить из рассмотрения.

Основу второй лекции составляют классические методы выделения границ перепада яркости. Но одновременно рассматривается технология удаления малозначимых и одновременно подчеркивания объектов интереса. Эта технология позволяет повысить качество получаемого контурного препарата. На рис. 1б-в приведены результаты практического применения этой технологии к изображению, представленному на рис. 1а. Для сравнения качества выделения контуров значимых объектов на рис. 1г представлено виртуальное изображение. Оно построено по цифровой карте местности на основании навигационных данных, зафиксированных датчиками в момент съемки рассматриваемого реального изображения. Очевидно, что совмещение этого виртуального изображения с отвечающим ему изображением, приведенным на рис. 1в, существенно проще, чем с изображением на рис. 1б.



**Рис. 1.** Изображения на разных стадиях выполнения технологической цепочки:  
**а** – исходное ТВ изображение; **б** – границы, выделенные с использованием детектора Кенни;  
**в** – итоговый результат в случае применения усредняющего фильтра;  
**г** – виртуальное изображение, построенное цифровой карте местности

ЛК3 – Основы контурного анализа (векторное представление контуров, скалярное произведение контуров, автокорреляционная и взаимная корреляционная функции контуров, идентификация и совмещение контуров) – 2 часа;

В рамках этой лекции изучаются основы контурного анализа, разработанные научным коллективом под руководством Я. А. Фурмана [2], а также оригинальные методы и алгоритмы авторов настоящей работы [3].

ЛК4 - Аффинные и проективные преобразования плоскости (виды аффинных преобразований, однородные координаты точки, дробно-линейные преобразования, матрица гомографии, ключевые точки, дескрипторы ключевых точек) - 4 часа;

Материал данной лекции является наиболее важным в рамках рассматриваемой дисциплины «Алгоритмические основы совмещения изображений различной физической природы». Поэтому изучению материала этой лекции и отработке практических навыков на лабораторных работах уделяется особое внимание.

Для учета проективных искажений используются дробно-линейные преобразования, которые в однородных координатах и в матричной форме имеют следующий вид

$$\begin{pmatrix} \lambda x \\ \lambda y \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для каждой пары ключевых точек  $X_i = (x_i, y_i)^T$  и  $X'_i = (x'_i, y'_i)^T$ ,  $i = \overline{1, k}$  в соответствии с формулой (1) можно составить пару уравнений

$$\begin{cases} x_i x'_i h_{31} + x_i y'_i h_{32} + x_i = x'_i h_{11} + y'_i h_{12} + h_{13}, \\ y_i x'_i h_{31} + y_i y'_i h_{32} + y_i = x'_i h_{21} + y'_i h_{22} + h_{23}. \end{cases} \quad (2)$$

В итоге получим систему  $2k$  линейных алгебраических уравнений  $AG_H = B$  относительно 8 неизвестных элементов  $G_H = (h_{11} \ h_{12} \ h_{13} \ h_{21} \ h_{22} \ h_{23} \ h_{31} \ h_{32})^T$  матрицы гомографии. В соответствии с формулами (2) основная матрица системы  $A$  имеет следующий вид

$$A = \begin{pmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1 x'_1 & -x_1 y'_1 \\ x'_2 & y'_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2 x'_2 & -x_2 y'_2 \\ x'_3 & y'_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3 x'_3 & -x_3 y'_3 \\ x'_4 & y'_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4 x'_4 & -x_4 y'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & 1 & -y_1 x'_1 & -y_1 y'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x'_2 & y'_2 & 1 & -y_2 x'_2 & -y_2 y'_2 \\ 0 & 0 & 0 & x'_3 & y'_3 & 1 & -y_3 x'_3 & -y_3 y'_3 \\ 0 & 0 & 0 & x'_4 & y'_4 & 1 & -y_4 x'_4 & -y_4 y'_4 \end{pmatrix},$$

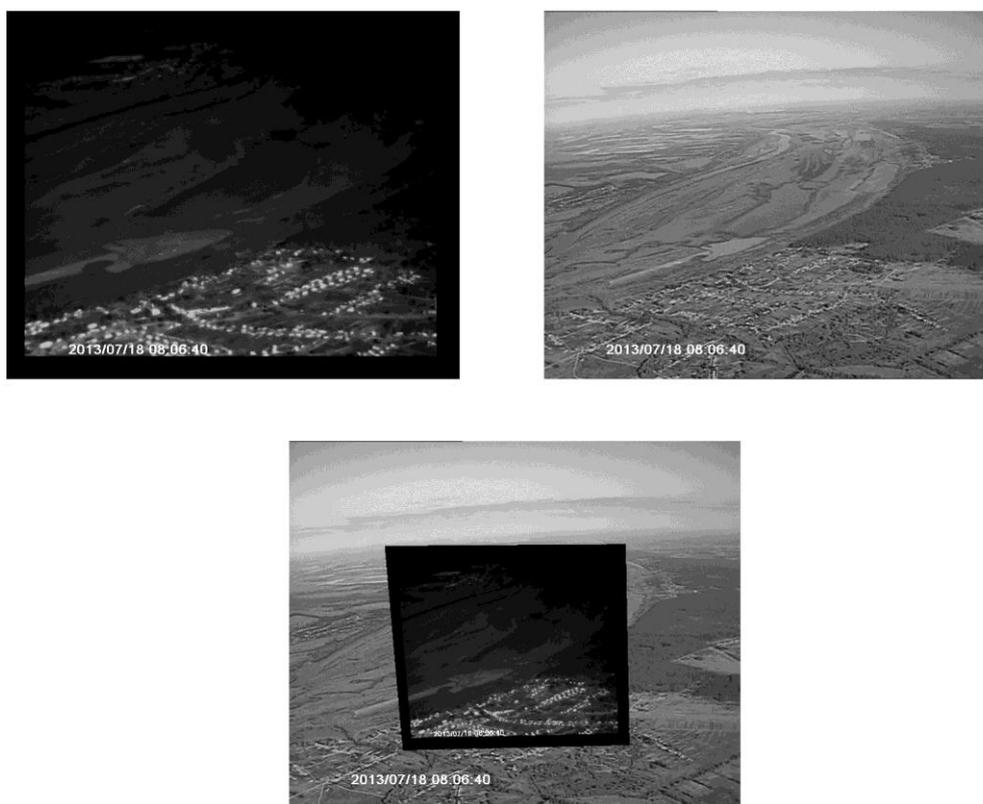
а вектор-столбец  $B = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4)^T$ .

При большом числе пар ключевых точек ( $k \gg 4$ ) целесообразно перейти от СЛАУ  $AG_H = B$  к нормальной СЛАУ  $(A^T A)G_H = A^T B$  с симметричной основной матрицей.

Естественным является желание использовать все множество пар ключевых точек для поиска матрицы гомографии. Однако в этом множестве могут быть пары либо с ложным соответствием, либо пары, в составе которых координаты одной точки в паре определены недостаточно точно. В этом случае предложено [4] использовать процедуру поэтапного уточнения матрицы гомографии. Для этого на каждом шаге находится матрица гомографии, выполняется совмещение изображений и оценивается качество совмещения. Если качество совмещения не ниже заданного порога, то найдена искомая матрица гомографии. В противном случае находятся и затем удаляются пары точек, расстояние между одной из них и образом другой в паре является наибольшим. Процесс сокращения множества пар продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое качество совмещения.

На рис. 2 в качестве примера применения описанного алгоритма приведены исходные изображения одного участка подстилающей поверхности, полученные с тепловизионной и

телевизионной камер в некоторый момент времени, а также результат их совмещения с помощью найденной матрицы гомографии.



**Рис. 2.** Совмещение изображений подстилающей поверхности

ЛК5 – Численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений с симметричной и положительно определенной матрицей – 2 часа;

Материал данной лекции изучается в объеме 9-й главы учебного пособия [5].

ЛК6 – Постановка и методы решения задачи совмещения изображений (цифровая карта местности, виртуальное изображение, получение контуров основных объектов на реальном изображении, методы совмещения изображений) – 4 часа;

Лекция является завершающей в рассматриваемом курсе. Материалом для нее являются монографии [1, 6] и оригинальные работы представителей различных научных школ. Параллельно с лекцией слушатели выполняют последнюю лабораторную работу и сдают зачет.

#### **Лабораторные работы:**

- Предварительная обработка изображений;
- Выделение границ перепада яркости;
- Морфологические операции;
- Аффинные преобразования плоскости;
- Проективные преобразования плоскости;
- Совмещение реальных изображений.

## Заключение

Опыт первого года работа в рамках названных целевых программ подтвердил предварительные предположения о высокой эффективности такого вида подготовки специалистов по профессионально ориентированным программам. Отмечено повышение заинтересованности студентов в изучении современных систем технического зрения и методов обработки информации, получаемой в таких системах. Этому способствовало и то обстоятельство, что лекции и лабораторные работы по перечисленным выше курсам, ведут преподаватели, принимающие активное участие в проведении научных работ по соответствующей тематике. Отдельные студенты включились в научный процесс и уже в конце первого года обучения выступали на научных конференциях с собственными научными результатами.

## Список литературы

- [1]. Гуров В.С., Колодько Г.Н., Костяшкин Л.Н. Логинов А.А., Муратов Е.Р., Никифоров М.Б., Новиков А.И., Павлов О.В., Романов Ю.Н., Саблина В.А., Юкин С.А. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. / под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Физматлит. 2016. 240 с.
- [2]. Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафазов Р.Г., Егوشина И.Л., Леухин А.Н. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов / под ред. Я.А. Фурмана. Изд. 2-е, испр. М.: Физматлит. 2003. 592 с.
- [3]. Novikov A.I., Sablina V.A., Nikiforov M.B., Loginov A.A. The Contour Analysis and Image-Superimposition Problem in Computer Vision Systems // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015. Vol. 25. Is. 1. P. 73-80. DOI: 10.1134/S1054661815010149.
- [4]. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 2. С. 258-265. DOI: 18287/2412-6179-2016-40-2-258-265.
- [5]. Новиков А.И. Начала линейной алгебры и аналитическая геометрия. М.: Физматлит. 2015. 376 с.
- [6]. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера. 2006. 616 с.