

Сергей Иванович Киркоров

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ
И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ**

Минск
«Колорград»
2020

УДК 004.932
ББК 32.811
К43

Киркоров, С. И.

К43 Компьютерное зрение и распознавание образов / Сергей Иванович Киркоров. – Минск : Колорград, 2020. – 384 с.
ISBN 978-985-596-741-6.

Рассматриваются методы и алгоритмы цифровой обработки видеoinформации применительно к компьютерному зрению и распознаванию образов. Представлен подход к обеспечению безопасности, надежности кода как написанного вручную, так и предварительным моделированием с автоматической генерацией кода из моделей.

Издание может быть использовано преподавателями вузов для разработки конспекта лекций и учебной программы в учреждениях высшего образования (II ступень), по учебной дисциплине для специальности: 1-53 80 01 Автоматизация. Будет полезно профессиональным программистам, преподавателям вузов и студентам старших курсов.

УДК 004.932
ББК 32.811

ISBN 978-985-596-741-6

© Киркоров С. И., 2020
© Оформление. ООО «Колорград», 2020

Содержание

Предисловие.....	5
Цели и задачи учебной дисциплины	9
Тема 1. Введение. Компьютерное зрение и распознавание образов. Предмет и задачи курса, его взаимосвязь с другими курсами специальности.....	11
Тема 2. Цифровое представление изображений. Классификация технологий цифровой обработки изображений	48
Тема 3. Сжатие изображений на основе психовизуальной модели зрительного анализатора.....	68
Тема 4. Предварительная обработка изображений компьютерного зрения....	109
Тема 5. Пространственная частота и преобразование Фурье	137
Тема 6. Вейвлет – преобразования изображений	142
Тема 7. Программные и аппаратные средства для систем компьютерного зрения и распознавание образов. Требования стандартов безопасности для КВОИ	174
Тема 8. Искусственные нейронные сети – перцептроны. Задачи классификации и распознавания образов	203
Тема 9. Распознавание образов средствами MatLab	217
Тема 10. Средства разработки аппаратно-программных средств компьютерного зрения. Языки программирования C++, Java, Ada.....	249
10.1. Контроль затрат с помощью выбора языка программного обеспечения.....	288
10.2. Создание безопасного программного обеспечения – технология фирмы AdaCore.....	295
10.3. Обзор языков, инструментов и технологий	307
10.4. Уязвимости в системе безопасности и их устранение.....	325
10.5. Промышленные примеры сценария	339
10.6. Подведение итогов	346

Приложение А к теме 10. CWE Mapping.....	347
Приложение Б к теме 10. Обработка SQL-инъекций в Ada и SPARK.....	355
Литература к теме 10.....	360
Приложение А. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ.....	362
Перечень рекомендуемой литературы.....	378

Предисловие

Компьютерное зрение – это пограничная область знаний. И как всякая пограничная область она интересна для изучения и непредсказуема; здесь часто нет авторитетов, на которые можно сослаться, – многие полезные идеи не имеют под собой теоретической основы, а некоторые теории бесполезны на практике; изученные области весьма различаются, и часто кажется, что всякая связь между ними отсутствует.

Отличительная черта компьютерного зрения – это извлечение описаний из изображений или последовательности изображений. Это весьма полезная особенность. Процесс снятия изображения обычно не деструктивен, кроме того, он достаточно прост и на сегодняшний момент недорог. Описания, необходимые пользователям, могут в большой мере зависеть от области их применения. Например, такой аспект компьютерного зрения, как определение структуры по движению, позволяет из серии изображений получить представление о том, что изображено на рисунке и как движется камера. В индустрии развлечений подобные методы применяются для отсеивания движения и построения трехмерных компьютерных моделей зданий с сохранением структуры. Эти модели применяются там, где нельзя использовать настоящие здания (их виртуально поджигают, взрывают и т.п.). С помощью небольшого числа фотографий можно получить хорошие, простые, точные и удобные модели. Рассмотрим другую ситуацию: люди, желающие контролировать работу мобильных роботов. В этом случае сведения об области, где используется робот, обычно не представляют значительного интереса, важно лишь местонахождение робота в этой области. Таким образом, здесь отсеивается информация о структуре и отслеживается движение, что позволяет определить точное местонахождение робота.

Есть еще целый ряд других важных областей применения компьютерного зрения. Это, например, работа с медицинскими изображениями: создание программных систем, которые могут улучшать набор изображений, выявлять на них важные моменты или события, либо визуализировать информацию, полученную из изображений. Другая важная область – различные технические проверки, когда по изображениям объектов определяется, соответствуют ли объекты спецификации. Третья сфера применения компьютерного зрения – интерпретация фотографий, сделанных со спутника, как в военных целях (например, может потребоваться программа, выявляющая интересные, с военной точки зрения, события в указанном регионе или определяющая вред, нанесенный в результате бомбардировки), так и в гражданских (какой урожай кукурузы будет в этом году? сколько осталось тропических лесов?). Четвертая область – это упорядочение и структурирование коллекций картин. Теперь пользователь уже умеет находить нужную информацию в текстовых библиотеках (хотя и здесь имеется ряд сложных, нерешенных вопросов), но еще не всегда знает, что делать с библиотеками статических или движущихся изображений.

Компьютерное зрение сейчас находится в особой точке своего развития. Эта тема стала популярной еще в 1960-х, но только недавно появилась возможность создания полезных компьютерных программ, использующих идеи компьютерного зрения, поскольку компьютеры и программы обработки изображений стали доступны большому количеству пользователей. Большую просветительную роль в процессе доступности готовых алгоритмов и простаты их применения сыграл библиотечный программный пакет OpenCV. Процедуры и функции библиотеки OpenCV доступны C/C++, Python и MatLab. Именно на основе OpenCV разработаны «ТУЛБОКСЫ» для большинства мультимедийных возможностей, операций вычислений на матрицах, математических преобразований и искусственного интеллекта, пакета MatLab последних версий. Таким образом, проводить серьезные исследования и решать многие повседневные задачи (например, упорядочить коллекцию фотографий, создать трехмерную модель окружающего мира, управлять и вносить изменения в коллекцию видеозаписей) теперь можно с помощью методов компьютерного зрения. Наши знания по геометрии и физике зрения и, что еще важнее, умение их применять в нужном направлении значительно развились. Основной материал подобран из [1, 12].

Системы с компонентами компьютерного зрения и/или распознавания образов все чаще относят к критически важным объектам информационной инфраструктуры. К программному обеспечению (ПО) критически важные объектов информационной инфраструктуры систем, от которых зависит жизнь людей или большие финансовые потери, предъявляются жесткие требования по безопасности. В Теме 10 рассматривается подход к обеспечению безопасности, надежности кода написанного вручную и с предварительным моделированием при автоматической генерацией кода из моделей. В отличие от модельно-ориентированного проектирования, в котором вопросы безопасности и надежности ПО поднимаются еще до создания кода, процесс верификации рукописного кода может быть разумным выходом в ситуации, когда о надежности, безопасности или сертификации ПО разработчики задумались слишком поздно, когда алгоритмы уже разработаны и реализованы.

В зависимости от отрасли применяются следующие стандарты для создания безопасного программного обеспечения:

- Авиастроение: DO-178/КТ-178, DO-278, DO-254/КТ-254, ARP4754А/Р4754А, ARP4761
- Автомобилестроение: ISO 26262
- Медицинская техника: IEC 62304
- Железные дороги: EN 50128
- Промышленная автоматизация: ГОСТ Р МЭК 61508, IEC 61508
- Атомная энергетика: IEC 60880, IEC 61513
- Встраиваемые системы: ГОСТ Р 51904, ГОСТ РВ 0019-001-2006

Чтобы доказать соответствие системы этим стандартам, разработчик системы должен подтвердить выполнение мероприятий разработки и верификации описанных в стандарте который используется для сертификации.

Доказано, что модельно-ориентированное проектирование сокращает трудозатраты на разработку и верификацию критических систем, и получило признание разработчиков. Однако, во многих проектах используется рукописный и унаследованный код и предприятия вынуждены прилагать существенные усилия по верификации такого кода. Поэтому предприятия заинтересованы в сокращении затрат и упрощении верификации.

Программное обеспечение для критических систем должно выполнять только те функции, которые были описаны в техническом задании и требованиях к ПО. Поэтому требуется установить взаимосвязь между кодом и требованиями. Для того, что бы проверить, что код работает так как указано в требованиях, проводится его тестирование. Сами тестовые векторы должны быть связаны с требованиями для того, что бы показать, что требование проверяется тем или иным тестом. Эти связи называются трассируемостью, а процесс создания таких связей и поддержания их в актуальном состоянии – управлением трассируемостью.

Многие языки программирования позволяют программистам выполнять потенциально небезопасные операции в коде и не предписывают жесткого стиля оформления исходного кода. Поэтому требуется ограничить программистов безопасным подмножеством языка программирования и ввести единый стиль оформления кода, то есть создать стандарт кодирования. Кроме того, исходный код может быть количественно измерен. Численные результаты измерений (метрики) являются показателями качества исходного кода. Расчет метрик кода и анализ соответствия стандарту кодирования называется инспекцией исходного кода. Инспекции исходного кода автоматизируются при помощи статического анализа.

Для проверки соответствия компонента ПО требованиям выполняется изоляция проверяемого компонента от системы и проводятся его испытания. Так как методика тестирования и сами тесты документированы и привязаны к требованиям, то говорят о тестировании, основанном на требованиях. Сами тесты выполняются чтобы проверить корректность результатов работы компонента ПО при известных входных данных и провести анализ покрытия кода тестами. Покрытие кода тестами – это мера полноты тестирования и неполное покрытие означает одно из следующего:

- Тестовые вектора недостаточны (неполны)
- Требования к ПО недостаточны (неполны)
- Выявлен неисполняемый код

Кроме подтверждения функциональной корректности компонента ПО требуется удостовериться в том, что он способен сохранять работоспособность даже при недопустимых внешних воздействиях (т.е. является робастным).

Так как компоненты ПО являются частями системы, требуется удостовериться в том что компоненты правильно объединены в единую систему. Сам процесс объединения компонентов системы в единое целое называется интеграцией ПО. Данный процесс требуется проводить непосредственно в составе готового изделия. После выполнения интеграции требуется собрать покрытие всей системы тестами с помощью запуска системных испытаний на целевой платформе.

После работы компилятора, компоновщика и ассемблера итоговый исполняемый объектный код не соответствует исходному коду, созданному на языке высокого уровня. Иными словами на уровне объектного кода появляется код, не трассирующийся на требования. Для самых критичных к безопасности систем стандарты предписывают выполнять анализ структурного покрытия не по исходному, а по исполняемому объектному коду (например, см. цель А-7.9 КТ-178С).

Описанные в отраслевых стандартах мероприятия верификации обеспечивают высокое качество разрабатываемого ПО, однако для внедрения разработанных систем требуется получение сертификационного зачета. При использовании инструментов верификации или разработки, стандарты предписывают провести квалификацию этих инструментов для доказательства их качества.

Цели и задачи учебной дисциплины:

Дисциплина «Компьютерное зрение и распознавание образов» предназначена для подготовки магистров в области автоматизации и защиты информации.

Целью преподавания и изучения дисциплины является приобретение знаний в области цифровой обработки изображений, компьютерное зрение, распознавание образов и разработки программных средств (ПС) автоматизации для автотранспорта, железнодорожного транспорта, Авионики, дистанционного зондирования земли и защиты доступа к критически важным объектам инфраструктуры (КВОИ).

Задачами дисциплины являются:

- приобретение знаний в области принципов и методов реализации прикладных систем «Компьютерное зрение и распознавание образов»;
- умение работать с доступными ПС разработки и имеющими сертификаты безопасности международных стандартов DO-178C / ED-12C, CENELEC EN 50128:2011, MISRA C и понимать особенности разработки ПС для КВОИ;
- получение знаний о компьютерном зрении, математических и эвристических методов распознавание образов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста:

Компьютерное зрение – это одна из самых востребованных областей на современном этапе развития цифровых компьютерных технологий. Оно требуется на производстве, при управлении роботами, при автоматизации процессов, в медицинских и военных приложениях, при наблюдении со спутников и при работе с персональными компьютерами, в частности поиске цифровых изображений.

Курс «Компьютерное зрение и распознавание образов» является неотъемлемой составляющей информационно-коммуникационных технологий и входит в приоритетные направления научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166. Знания о современных и перспективных технологий компьютерного зрения и распознавания образов необходимы для магистров в области аппаратных и программных средств автоматизации и защиты информации.

Для освоения данного курса необходимо знание следующих дисциплин: «Математика», «Физика», «Основы защиты информации», «Теории электросвязи» и «Цифровая обработка речи и изображения».

Требования к освоению учебной дисциплины:

В результате освоения курса «Компьютерное зрение и распознавание образов» магистры должны:

знать:

- математический аппарат, связанный с цифровой обработкой сигналов, статических и динамических изображений, понимание правил и методов работы с технологиями распознавания образов;
- современные прикладные технологии распознавания образов;
- требования защиты информации к системам распознавания образов и компьютерного зрения;

уметь:

- использовать изученные ПС разработки для решения практических задач.