

Применения онтологий для решения задачи автоматизированной генерации алгоритмов обработки изображений

В.В. Белов, А.К. Лопатин

Аннотация — В статье рассматриваются вопросы применения онтологии в качестве альтернативного средства автоматизированной генерации алгоритмов обработки изображений. Специфическим для области обработки изображений является необходимость учета многообразия условий и форм эксплуатации базовых алгоритмов обработки изображений. Атомарные алгоритмы, несмотря на визуально идентичное влияние, оказываемое на изображение, могут приводить к различным результатам, будучи использованными в произвольном порядке. Онтология является спецификацией концептуализации предметной области с определенными ограничениями в зависимости от области интересов, и должна включать словарь терминов и некоторые спецификации их значений. Использование онтологий способствует созданию адекватных концептуальных моделей, обеспечивая качественное, контролируемое информационное интегрирование. В статье предлагается состав онтологий необходимых для хранения знаний, связанных с предметной областью «Обработка изображений». Описывается взаимодействие онтологий с базами данных системы генерации. Приводится структура интеллектуальной системы генерации композиции алгоритмов. Центральной базой данных является база объектов обработки. Каждый объект связан с прикладной предметной областью. Возможные характеристики объекта хранятся в прикладной онтологии. Модуль генерации композиций алгоритмов представляет собой подсистему, в основу функционирования которой заложен генетический алгоритм для обработки изображений.

Ключевые слова — онтологии, обработка изображений, прикладные онтологии, генерация композиции алгоритмов

I. ВВЕДЕНИЕ

Изображения – это одно из основных средств представления информации в научных исследованиях, медицине, экологии, химии, технике, военном деле, исследовании природных ресурсов, дистанционном зондировании поверхности Земли из атмосферы и космоса, навигации, обеспечении безопасности и предотвращении террористических актов [1]. Широкий круг решаемых задач с применением ограниченного количества методов приводит к многочисленным

попыткам ученых-специалистов в области обработки изображений систематизировать имеющиеся знания [1-4] и разработать системы, автоматически обрабатывающие графическую информацию [5].

Специфическим для области обработки изображений является необходимость учета многообразия условий и форм эксплуатации базовых алгоритмов обработки изображений. Атомарные алгоритмы, несмотря на визуально идентичное влияние, оказываемое на изображение, могут приводить к различным результатам, будучи использованными в произвольном порядке. Выбор оптимальной с точки зрения структуры и параметров внутренних алгоритмов композиции является основной прикладной задачей в исследованиях многих экспертов в области компьютерного зрения. При этом, несмотря на большое количество научных работ, посвященных решению конкретных задач, и подробных исследований отдельных алгоритмов, отсутствуют инструменты (как методические, так и программные) для автоматизации синтеза композиций алгоритмов для решения задач из различных предметных областей или различных условий решения одной и той же задачи.

В данной работе предлагается структура онтологий и информационной системы генерации композиции алгоритмов с целью решения прикладных задач, определяемых прикладной предметной областью.

II. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОМПОЗИЦИЙ АЛГОРИТМОВ

A. Обзор методов генерации композиций алгоритмов обработки изображений

Обилие алгоритмов обработки изображений и ряд их особенностей [2] оказывает существенное влияние на процесс генерации композиции алгоритмов, связанных с обработкой решений. Процесс разработки от декомпозиции исходной задачи на элементарные подзадачи и подбора алгоритмов их решающих до написания кода и введении в эксплуатацию – является нетривиальной процедурой, при том, что в многочисленных работах как отечественных [1, 4, 12-15] так и зарубежных авторов [2, 5-9] предлагается большое количество различных вариантов решения конкретных задач.

Для решения составных задач, предполагающих генерацию композиции алгоритмов (каждый из которых предназначен для решения элементарной подзадачи) также предлагаются различные подходы. Наиболее

Белов В.В. профессор кафедры ВПМ, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, (e-mail: vv_beloff@yandex.ru)

Лопатин А.К., инженер-программист ООО «Базис-центр», (e-mail: ak_lopatin@mail.ru)

распространёнными являются:

- применение эволюционных алгоритмов;
- применение метода онтологий и тезаурусов.

В. Использование генетических алгоритмов

Использование генетических алгоритмов для обработки изображений осуществляется по нескольким направлениям.

А. Как основной метод решения задач обработки изображений (решение замкнуто на генетике):

1) для нахождения точного решения задач генерации структуры алгоритмов в таких работах как, например, [6, 10, 20]; в этой группе работ генетические алгоритмы используются в качестве метода структурной идентификации;

2) для улучшения визуального качества изображения [16] – используются в качестве метода параметрической оптимизации;

3) в качестве механизма генерации вариантов в процедурах распознавания образов.

Б. Как вспомогательный механизм (генерация стартового набора параметров нейронной сети).

К недостаткам перечисленных методов группы А можно отнести их узкую специализацию и отсутствие проверки оптимальности сгенерированных композиций: так методы, предложенные в работе [6] в отдельных случаях приводят к применению взаимно-исключающих операторов обработки изображений. Одним из объяснений причин генерации «неудачных» композиций является отсутствие в системе заложенных знаний об ограничениях конкретной предметной области и целесообразности последовательного применения методов из конкретных групп операторов обработки изображений.

С. Использование онтологий при решении прикладных задач анализа изображений

Онтология в информатике, согласно современным толкованиям [18], является «точной спецификацией концептуализации предметной области», но с определенными ограничениями в зависимости от области интересов, и должна включать словарь терминов и некоторые спецификации их значений. Использование онтологий способствует созданию адекватных концептуальных моделей, обеспечивая качественное, контролируемое информационное интегрирование.

Онтологии – содержательные теории, которые включают общий набор распространяемых фактов, чье основное назначение – идентифицировать определенные классы объектов и отношений, которые существуют в некоторой части предметной области. Таким образом, неформально определенные онтологии – это соглашения об общедоступной концептуализации. Специфика прикладной области в значительной степени влияет на основные положения этих соглашений. Используя онтологии применительно к обработке изображений как специфической предметной области в контексте решения задачи автоматической генерации композиции алгоритмов будут использованы два типа онтологий – онтологии предметной области и прикладная онтология (описывающая прикладную область). К онтологиям

предметной области относятся:

- изображение*;
- задачи обработки изображений;
- операторы обработки изображений.

III. СТРУКТУРА ОНТОЛОГИИ «ИЗОБРАЖЕНИЕ*»

Любое изображение обладает как универсальными свойствами, так и свойствами интерпретации которых, зависят от предметной области. Изображение можно охарактеризовать с двух позиций: 1) используя универсальные характеристики, не связанные с семантикой объектов, представленных на изображении; 2) характеризуя изображенные объекты без привязки к характеристикам изображения в целом. Учитывая этот факт, все знания об изображении можно разбить на два класса:

а) знания, формируемые физическим устройством камеры и способом оцифровки (автоматически определяемые характеристики), вычисление которых не требует никаких вычислений, осуществляется только чтение информации или определяется однозначно применительно к конкретному изображению.

б) знания, извлечение которых возможно только после применения операторов из различных групп методов обработки изображений.

К подклассам первого класса относятся следующие.

- Геометрические параметры (длина, ширина), цветовое пространство.
- Метаданные об изображениях, которые могут содержать время; место; координаты; аппаратура, с помощью которой осуществлялась съёмка и др.
- Гистограммы в различных цветовых каналах, а также гистограмма светлоты, как интегральной характеристики интенсивности пикселей из различных цветовых каналов.
- Информация о характеристиках шума, присутствующего на изображении. К примеру, используя методики блочного измерения уровня шума [19] можно сделать выводы о необходимости применения методов восстановления изображения или улучшения изображения.

Ко второй группе относятся знания об объектах изображения, а именно: область, граница, фон, текстура. Данные второй группы, очевидно, представляют собой «производные» характеристики, наличие которых в онтологии обусловлено многочисленными областями применения. Эти данные явно изменяются в зависимости от контекста и/или применённых операторов и не могут быть установлены автоматически со 100% точностью без использования "эксперта" - человека или некой интеллектуальной системы. Более того вычисление этих характеристик (устранение неопределённости) в контексте части задач обработки изображений не нужны.

IV. СТРУКТУРА ОНТОЛОГИИ «ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ»

Для решения практических задач обработки изображений необходимо осуществить переход от формулировок задач на естественном языке к

формулировкам, удобным для машинной обработки и понимания. Любая задача в своём полном описании содержит: некий идентификатор, определяющий цель её решения – *Goal*; систему ограничений, предъявляемых к данным на входе и выходе – *Restriction_{in}/Restriction_{out}* и вспомогательные данные – *Context*.

$Task(Goal, Restriction_{in}, Restriction_{out}, Context)$

Соответственно в составе онтологии «Задачи обработки изображений» предлагается использовать поля [1, 20]:

- цель – строка, к примеру «снижение уровня зашумлённости без искажения цветовой палитры изображения»;
- подзадача – элемент из базового класса «задача»;
- входные данные – элементы онтологии «Изображение*»;
- требования к результату: предъявляемые к эффективности и характеристикам решающего задачу алгоритма и к качеству/формату результата;
- метод – множество элементов онтологии «Алгоритмы обработки изображений» (см. пункт V).

Отличительной чертой от представленных в [1, 20] является использование расширенной онтологии «Алгоритмы обработки изображений», а также состав онтологии «Изображение*»

V. СТРУКТУРА ОНТОЛОГИИ «ОПЕРАТОРЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ»

Описываемая в этом разделе онтология отчасти схожа с предыдущей. Метод обработки изображения рассматривается, как алгоритмическая процедура, набор алгоритмических процедур или алгоритмическая схема, обладающая следующими свойствами: область применимости – перечень задач, которые данный метод, позволяет решить; входные и выходные данные; набор подзадач, решение которых необходимо для реализации данного метода. В состав онтологии вводятся следующие свойства:

- решаемые задачи – элементы базового класса онтологии «Задачи обработки изображений»;
- входные данные – элементы онтологии «Изображение*»;
- параметры атомарных, представляющих собой единый и законченный акт преобразования изображений, операторов обработки изображений;
- результат – элементы онтологии, являющейся объединением онтологий [16] «Прикладная область» и онтологии «Изображение*».

Онтология «Операторы обработки изображений»

содержит в своём описании минимальный набор полей и аннотаций достаточный для выполнения двух функций: а) определения решаемых этим алгоритмом задач (указание алгоритма не применительно к решению задачи должно указывать на список всех решаемых этим алгоритмом задач, перечисленных в онтологии); б) понимания работы данного оператора – его ограничений и краткого описания.

Также каждый оператор помимо аннотации и системы ограничений хранит свой набор параметров, регулирующий степень его воздействия на изображение. Так, к примеру, у группы пространственных фильтров есть общий параметр – радиус (ширина окна), а потомок, конкретный представитель этой группы, – например, фильтр Гаусса. Для нелинейных фильтров – это величина верхнего и нижнего порогов.

VI. СТРУКТУРА ОНТОЛОГИИ «ПРИКЛАДНАЯ ОБЛАСТЬ»

Поскольку онтологии, посвященные обработке изображений, представляют интерес в первую очередь в контексте решения научно-технических задач, то в составе онтологий должна присутствовать онтология, определяемая прикладной областью. Эта онтология представляет собой знания о проблематике конкретной области. В состав такой онтологии включаются различные *контексты* [20], представляющие собой *базовые классы*:

- получение изображение – базовый класс, содержащий в себе свойства определяемые в классе *a* онтологии «Изображение*»;
- свойства объекта – базовый класс, содержащий описания объектов на изображении;
- функциональное описание – базовый класс, содержащий интерпретации результатов решения задачи.

VII. ВЗАИМОСВЯЗЬ ОНТОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ КОМПОЗИЦИЙ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На рисунке 1 показана связь онтологий посредством баз данных рассматриваемой системы. Центральной базой данных является база объектов обработки. Каждый объект связан с прикладной предметной областью. Возможные характеристики объекта хранятся в прикладной онтологии. Возможные задачи, связанные с обработкой данного объекта, хранятся в онтологии «Задачи обработки изображений».

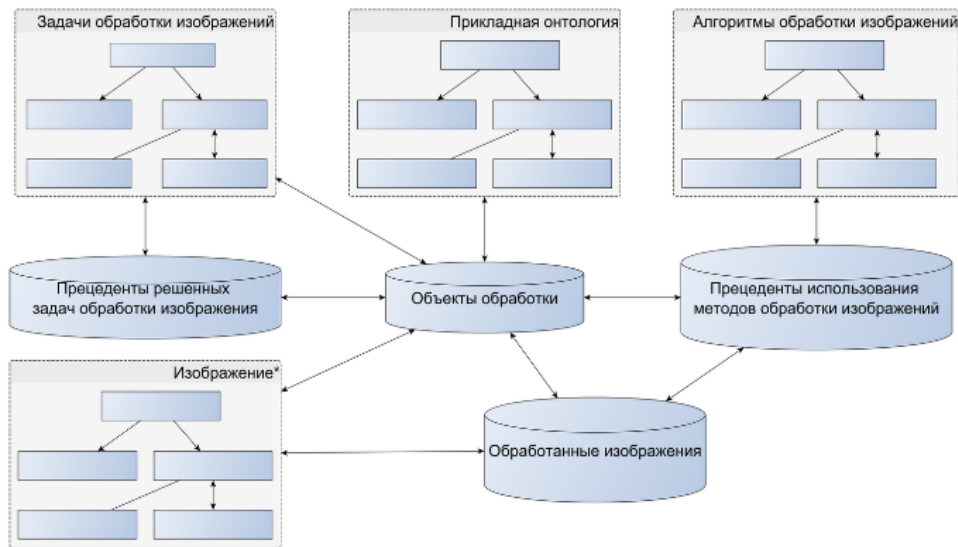


Рис.1. Связь онтологий посредством баз данных

Для решения конкретной задачи обработки изображений на основании онтологии «Алгоритмы обработки изображений» генерируются композиции алгоритмов, которые хранятся в базе данных «Прецеденты использования методов обработки изображений». Соответствующая информация о выходных изображениях, а также изображениях-артефактах (ставших прецедентом или исключением в контексте решения некоторой задачи) хранится в базе данных «Обработанные изображения». Сохраняемые характеристики изображений хранятся в онтологии «Изображение*».

Информация о фактах решения конкретных задач хранится в базе данных «Прецеденты решения задач» в виде характеристик, описанных в онтологии «Задачи обработки изображений».

VIII. АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ КОМПОЗИЦИИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На рисунке 2 представлена схема реализации интеллектуальной системы. В качестве СУБД для хранения онтологий может быть использована MySQL, Oracle, PostgreSQL, MS SQL. Конкретная СУБД определяется возможностями используемых средств управления онтологиями. Управление онтологиями может осуществляться с помощью систем для работы с онтологиями (Protege) или с помощью специализированных библиотек. Специализированные системы позволяют определять классы, экземпляры, свойства онтологий, используя средства пользовательского интерфейса. Разработанная онтология может храниться во внешних файлах или заданной СУБД.

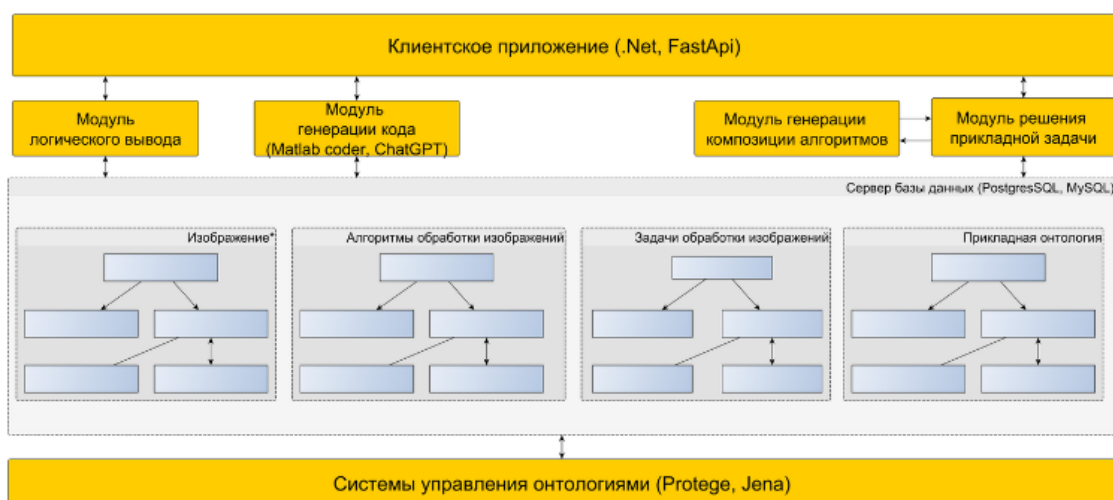


Рис.2. Структура интеллектуальной системы генерации композиции алгоритмов

Клиентское приложение, с помощью которого предполагается управление системой, реализуется на любом языке высокого уровня. С помощью данного приложения конечные пользователи будут осуществлять управление системой: добавлять новые

прецеденты использования композиции алгоритмов обработки изображений, формулировать запросы к системе, получать рекомендации об оптимизации существующих композиций (введённых в эксплуатацию экзогенно), осуществлять генерацию шаблонов кода

(используя возможности ChatGPT, Matlab Coder). Фактически, доступ к ядру системы может осуществляться либо с помощью клиентского приложения, либо с помощью систем управления онтологиями.

Подавая на вход системы информацию о задаче обработки изображения (включая входные данные для её решения и ограничения, накладываемые на результат) или о композиции операторов обработки изображений пользователь может получить:

1. Последовательность операторов, решающих данную задачу, оптимизированную в соответствии с критериями, определенными пользователем.
2. Оценки эффективности композиции алгоритмов и элементарных операторов.
3. Список задач, решаемых с помощью указанной композиции, в контексте текущей предметной области.

Модуль генерации композиций алгоритмов представляет собой подсистему, в основу функционирования которой заложен генетический алгоритм, описанный в работах [21, 22], осуществляющий структурную и параметрическую оптимизацию операторов обработки изображений.

IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемая система предназначена для упрощения подбор алгоритмов и процесс генерации кода алгоритмов решения задач связанных с обработкой изображений. Уровень абстракции позволяет адаптировать предлагаемую систему к произвольной предметной области, а заложенные в основу генерации композиции генетические алгоритмы и методы многокритериальной динамической оптимизации [23, 24] – формировать оптимальный (в соответствии с критериями, установленными эксплуатантом) алгоритм.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Гуревич И. Б., Трусова Ю. О. Тезаурус и онтология предметной области «Анализ изображений» // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания – Онтологии – Теории» (ЗОНТ–09), 22–24 октября 2009 г., Новосибирск. С.213–222
- [2] Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012 (М. : Типография "Наука" РАН). - 1103 с.
- [3] Курбатов С. С., Найденова К. А., Хахалин Г. К. О схеме взаимодействия в комплексе «анализ и синтез естественного языка и изображений» // Труды XII национальной конференции по Искусственному Интеллекту с международным участием–КИИ–2010 (Тверь, 20–24 сентября 2010). – С. 234–242
- [4] Усталов, Д. Кудрявцев А. Применение онтологии при синтезе изображения по тексту." ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России БН Ельцина» (2012). [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://koost.eveel.ru>
- [5] Stoitsis J., Golemati S., and Nikita K.S., (2006), A Modular Software System to Assist Interpretation of Medical Images – Application to Vascular Ultrasound Images, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol. 55, No. 6, December, 2006
- [6] Махно Беликова, Т. А. Автоматизированная СИСТЕМА обработки ультразвуковых изображений сонных артерий на основе эволюционных алгоритмов // Electrotechnic and Computer Systems. 2015. – № 18(94). – С. 92-99..
- [7] Suri J.S., Yuan C., Wilson D.L., Laxminarayan S. Plaque Imaging: Pixel to Molecular Level //Volume 113 of Studies in Health Technology and Informatics, May 2005. – P. 488
- [8] Lee J.S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2:165 - 168, 1980.
- [9] Lin Y. Feature synthesis and analysis by evolutionary computation for object detection and recognition. //PhD Thesis, University of California, Riverside, 2003
- [10] Беликова Т.А., Скобцов В.Ю. Генетический алгоритм в задаче фильтрации УЗ изображений и анализ эффективности его модификаций // Вестник Херсонского Национального технического университета № 1 (44), 2012. – С. 331 - 338.
- [11] Беликова Т.А., Скобцов В.Ю. Эволюционный поиск эффективных последовательностей фильтров в задаче бинаризации УЗ изображений // Труды ИПММ НАН Украины. – Т. 23, 2011. – С. 21 – 34
- [12] Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерные обработки и распознавание изображений: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
- [13] Садыков С. С., Варламов А. Д. Улучшение качества фотоизображений, поврежденных шумами // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», НиКа. 2005. С. 338- 340.
- [14] Садыков С. С., Савичева Светлана Владимировна Предварительная обработка изображений плоских объектов в системах технического зрения // Приборостроение. 2012. №2.
- [15] А.Г. Зотин, А.И. Пахирка, М.В. Дамов, Е.И. Савчина Улучшение визуального качества изображений, полученных в сложных условиях освещенности на основе инфракрасных данных // Программные продукты и системы. 2016. №3 (115).
- [16] Белоусов А. А., Спицын В. Г., Сидоров Д. В. Применение генетических алгоритмов и вейвлетпреобразований для повышения качества изображений // Известия ТПУ. 2006. №7.
- [17] Тузовский А. Ф. Метод объединения онтологий предметных областей знаний // Известия ТПУ. 2006. №7.
- [18] Клещев А.С., Артемьева И.Л. Математические модели онтологий предметных областей. Часть 1. Существующие подходы к определению понятия «онтология» // Науч.-техн. информ. Сер. 2, Информ. процессы и системы. – 2001.
- [19] Новиков А.И., Пронькин А.В. Метод оценки уровня шума цифрового изображения // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, № 5. – С. 713-720. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-894.
- [20] Белоозеров, В.Н. Гуревич И.Б., Трусова Ю.О. Тезаурус по анализу изображений в сети терминологических словарей // Перспективные направления научных исследований и критические технологии в классификационных системах: научно-практическая конференция, 25-27 октября, 2017 г. : материалы конференции. – М.: ВИНТИ РАН, 2017.
- [21] Белов, В. В. База знаний в системе генерации алгоритмов в виде цепочек процедур / В. В. Белов, А. К. Лопатин // Достижения науки и технологий-ДНТ-2021 : сборник научных статей по материалам Всероссийской научной конференции, 10–11 декабря 2021 года. – Красноярск, 2021. – С. 299-303. DOI 10.47813/dnit.2021.2.299-303.
- [22] Белов, В. В., Лопатин А. К. Применение механизмов эвристического поиска для формирования цепочек алгоритмов, улучшающих градиентные изображения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 66-1. – С. 78-89.
- [23] Белов, В. В., Лопатин А. К. Теорема о конечности лексикографической процедуры // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем : Межвузовский сборник научных трудов. Том Выпуск 2. – Рязань : ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2019. – С. 25-31.
- [24] Белов, В. В., Лопатин А. К. Решение задачи оптимизации автоматической обработки изображений // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020 : Сборник трудов III Международного научно-технического форума: в 10 т., Рязань, 04–06 марта 2020 года. Том 5. – Рязань: РГРТУ, , Издательство «BookJet», 2020. – С. 199-203.

The ontologies' applications to solve the automated generation of image processing algorithms' problem

V.V. Belov, A.K. Lopatin

Abstract — The article deals with the application of ontology as an alternative means of automated generation of image processing algorithms. Specific to the field of image processing is the need to take into account the diversity of conditions and forms of operation of basic image processing algorithms. Atomic algorithms, despite having a visually identical effect on the image, can lead to different results when used in an arbitrary order. An ontology is a specification of the conceptualization of a subject area, with certain restrictions depending on the area of interest, and should include a glossary of terms and some specification of their meanings. The use of ontologies contributes to the creation of adequate conceptual models, providing high-quality, controlled information integration. The article proposes the composition of ontologies necessary for storing knowledge related to the subject area "Image Processing". The interaction of ontologies with databases of the generation system is described. The structure of an intelligent system for generating the composition of algorithms is given. The central database is the database of processing objects. Each object is associated with an application domain. Possible characteristics of an object are stored in the applied ontology. The algorithm composition generation module is a subsystem based on a genetic algorithm for image processing.

Key words — ontologies, image processing, applied ontologies, algorithm composition generation

REFERENCES

- [1] Gurevich I.B., Trusova Y.O. The thesaurus and ontology of the domain "Image Analysis". In Materials of the All-Russian Conference with international participation "Knowledge - Ontology - Theory" (ZONT-09), 22-24 October 2009, Novosibirsk. C.213- 222
- [2] Gonzalez, R. S. Digital Image Processing. Moscow : Technosphere, 2012 (M. : Printing House "Nauka" RAS). 1103 c.
- [3] Kurbatov S. S., Naidenova K. A., Khakhalin G. K. About scheme of interaction in complex Analysis and Synthesis of Natural Language and Images. In Proceedings of XII National Conference on Artificial Intelligence with International participation - KII-2010 (Tver, 20-24 September 2010), C. 234-242
- [4] Ustalov, D. Kudryavtsev A. Application of ontology in image synthesis by text." In FGAOU VPO "UrFU named after the first President of Russia BN Yeltsin" (2012). [Electronic resource] Access mode: <http://koost.eveel.ru>
- [5] Stoitsis J., Golemati S., and Nikita K.S. A Modular Software System to Assist Interpretation of Medical Images - Application to Vascular Ultrasound Images, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol. 55, No. 6, 2006.
- [6] Makhno Belikova, T. A. Automated SYSTEM for processing ultrasound images of carotid arteries based on evolutionary algorithm. Electrotechnic and Computer Systems, 2015. no. 18(94), p. 92-99.
- [7] Suri J.S., Yuan C., Wilson D.L., Laxminarayan S. Plaque Imaging: Pixel to Molecular Leve. Studies in Health Technology and Informatics, 2005, Volume 113, p. 488
- [8] Lee J.S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2,165 168, 1980.
- [9] Lin Y. Feature synthesis and analysis by evolutionary computation for object detection and recognition. PhD Thesis, University of California, Riverside, 2003.
- [10] Belikova T. A., Skobtsov V. Yu. Genetic algorithm in the problem of filtering of ultrasonic images and analysis of the effectiveness of its modifications. Bulletin of Kherson National Technical University, No. 1 (44), 2012. p. 331 - 338.
- [11] Belikova T.A., Skobtsov V.Y. Evolutionary search of effective filter sequences in the problem of binarization of US images. Proceedings of IPMM of the National Academy of Sciences of Ukraine. v. 23, 2011, p. 21 - 34
- [12] Fisenko V. T., Fisenko T. Yu. Computer processing and image recognition: Tutorial. St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2008.
- [13] Sadykov S. S., Varlamov A. D. Improvement of the quality of photoimages corrupted by noise. In Nika, 2005, p. 338- 340
- [14] Sadykov S. S., Savicheva S. V. Pre-processing of images of flat objects in vision systems. // Instrument Engineering. 2012. №2.
- [15] Zotin A.G., A.I. Pakhirka, M.V. Damov, E.I. Savchina Improvement of visual quality of images obtained in complex illumination conditions based on infrared data. Software Products and Systems. 2016. №3 (115).
- [16] Belousov A. A., Spitsyn V. G., Sidorov D. V. Application of genetic algorithms and wavelet transforms to improve image quality // Proceedings of TPU. 2006. №7.
- [17] Tuzovskiy A. F. Method of integration of subject knowledge ontologies. Proceedings of TPU. 2006. №7.
- [18] Kleshchev A.S., Artemieva I.L. Mathematical models of domain ontologies. Part 1. Existing approaches to definition of the concept "ontology". Nauch. Ser. 2, Informational processes and systems, 2001.
- [19] Novikov, A.I., Pronkin A.V. Method of Noise Level Estimation of Digital Image. Computer Optics, 2021, v. 45, no. 5, p. 713-720.
- [20] Belozerov, V. N. et al. Thesaurus on image analysis in the network of terminological dictionaries. In Perspective directions of scientific research and critical technologies in classification systems: scientific conference, October 25-27, 2017. Moscow : VINITI RAS, 2017.
- [21] Belov, V.V., Lopatin A.K. Knowledge base in algorithm generation system in the form of procedure chains. In Achievements of science and technology-DNiT-2021 : collection of scientific papers on the materials of the All-Russian scientific conference, Krasnoyarsk, 10-11 December 2021, p. 299-303. - DOI 10.47813/dnit.2021.2.299-303.
- [22] Belov, V.V., Lopatin A.K. Application of heuristic search mechanisms to form chains of algorithms improving gradient images. Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University, 2018, № 66-1, p. 78-89. DOI 10.21667/1995-4565-2018-66-4-1-78-89..
- [23] Belov, V.V., Lopatin A.K. Theorem on the finiteness of the lexicographic procedure. In Mathematical and software computing systems : an interuniversity collection of scientific papers Vol. Issue 2. Ryazan : IP Konyakhin A.V. (BookJet), 2019, p. 25-31.
- [24] Belov, V.V., Lopatin A.K. Solving the problem of optimizing automatic image processing. In Modern technologies in science and education - STNO-2020. Ryazan: Ryazan State Radio Engineering University, Publishing house "BookJet", 2020, p. 199-203.

About Authors

Belov Vladimir Viktorovich, Professor of the Department of Computational and Applied Mathematics, Ryazan State Radiotechnical University. V.F. Utkin" 390005, Ryazan, st. Gagarina, 59/1, (e-mail: vv_beloff@yandex.ru)
Lopatin Alexander K., software engineer, Basis Center LLC, (e-mail: ak_lopatin@mail.ru)