

Разработка языка описания наблюдаемых свойств распознаваемых объектов в отсутствие примеров*

А.Е. Марченко^I, Е.И. Ершов^{II}, Д.А. Шепелев^{II}, Д.С. Сидорчук^{II}, В.П. Божкова^{II}, Д.П. Николаев^{II}

^I ООО «Когнитивные технологии», г. Москва, Россия

^{II} Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия

Аннотация. В рамках задачи распознавания объектов методами компьютерного зрения рассматривается задача разработки языка описания свойств распознаваемых объектов в отсутствие примеров. Предлагаются принципы построения такого языка, выбираются конкретные свойства, для описания которых язык будет пригоден. Предлагаются способы задания этих свойств на описываемом языке. Обсуждается синтаксис языка. Приводится пример описания объекта на разработанном языке.

Ключевые слова: машинное зрение, распознавание объекта, язык описания, наблюдаемые свойства, геометрическая форма, цвет.

DOI: 10.14357/20790279180506

Введение

Распознавание объектов по их изображению является в настоящее время одним из динамично развивающихся направлений машинной обработки данных. Одной из наиболее разработанных групп методов распознавания объектов являются подходы, основанные на машинном обучении, в которых используются множества примеров изображений объекта. Машинное обучение позволяет механизировать процесс адаптации алгоритма для распознавания конкретных объектов [1]. В ряде случаев для создания нового автоматизированного детектора не требуется вообще никаких исследований – только выбор и автоматическое обучение классификатора на определенной выборке. Большинство популярных в настоящее время подходов к распознаванию, связанных с машинным обучением, используют технологию искусственных нейронных сетей [2, 3], также разработаны алгоритмы, основанные на иных принципах [4, 5]. Методы машинного обучения успешно применяются в различных областях – в частности, для распознавания печатных текстов по их изображению [6], а также в задаче распознавания объектов дорожной сцены в системах дорожного регулирования и помощи водителю (ADAS) [7, 8].

Технологии машинного обучения обладают большой универсальностью, однако нередко для достижения требуемой надежности распознавания

объемы обучающей выборки должны быть столь велики, что ее подготовка и сам процесс обучения требуют слишком больших трудовых и материальных затрат. Для снижения трудоемкости адаптации системы к конкретному виду объектов применяются методы, не использующие машинное обучение на большом числе примеров искомого объекта. Основная их масса базируется на выделении неких формализуемых признаков, количественная величина которых устойчива на множестве изображений искомого объекта и отличает данный объект от прочих. Набор признаков выбирается на этапе проектирования либо адаптации системы к распознаванию объектов определенного вида.

Среди методов, основанных на этом подходе, можно назвать методы факторного анализа, которые успешно применяются при распознавании лиц [10, 11]. Машинное обучение в таких методах используется не на примерах изображений искомого объекта, а на множестве изображений всего класса распознаваемых объектов, строя при этом множество признаков, по которым будет осуществляться распознавание. Разработаны методы, снижающие требования к числу примеров вплоть до одного [12], или даже работающие без примеров – по криминалистическому рисованному портрету [13].

Метод, основанный на априорном выделении признаков, применяется также в задачах распознавания печатных структурированных документов и форм. В них первично детектируемые признаками являются наличие определенных

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00150).

фрагментов текста с определенными атрибутами. Конкретные значения этих признаков могут задаваться полностью вручную [9] или в полуавтоматизированном режиме, по единственному примеру документа [14].

Системы распознавания объектов в отсутствие примеров исключают трудоемкий этап обучения и, тем самым, выигрывают у систем, основанных на машинном обучении. Однако в существующем виде они проигрывают последним в универсальности – все такие системы специализированы для детекции только объектов определенного вида и непригодны для распознавания более широкого класса объектов без существенного изменения самого алгоритма распознавания. Это приводит к задаче совместить преимущества систем обоих классов – трудоэффективность и универсальность.

Подход, применимый для создания системы, снижающей трудозатраты и при этом универсальный, предложен в [15]. Метод, описанный в данной работе, предполагает создание графа *понятий* – наиболее примитивных составляющих распознаваемого объекта. Для их распознавания применяются первичные детекторы – программные модули, способные отыскивать на изображении элементарные объекты. Этот метод, в своей основе, не использует машинное обучение, а его универсальность может быть обеспечена надлежащим выбором множества понятий и формализации отношений между ними.

Для решения задачи разработки системы используемых понятий и отношений, а также создания основы для будущей универсальной системы распознавания объектов в отсутствие примеров, настоящая работа предлагает разработку языка описания свойств распознаваемого объекта. Описания, выполненные на этом языке, предполагается транслировать в граф описания объекта, обход которого будет осуществляться в процессе распознавания. Разработка такого языка позволит в дальнейшем автоматизировать создание самой процедуры распознавания (устранив необходимость ее написания заново для каждого нового класса искомого объекта) и послужит основой для построения интегрированной универсальной системы распознавания объектов в отсутствие примеров.

1. Принципы языка

Язык предназначен для создания описаний объектов в целях последующего машинного распознавания их образов.

Исходными данными для задачи распознавания является изображение объекта. Изобра-

жение предоставляет информацию о видимых на нем геометрических формах в некоторой проекции и информацию об окраске. Именно форма и окраска будут сущностями, описываемыми языком.

Для распознавания формы и окраски предполагается использовать *первичные детекторы*, т.е. независимые процедуры, способные отмечать на изображении области вероятного расположения проекции той или иной геометрической формы (или ее части), либо окраски.

Сами объекты, распознаваемые первичными детекторами, будут называться *элементарными понятиями* (ЭП). Именно ЭП образуют набор слов языка, и из них будет составляться описание распознаваемого объекта.

Из вышесказанного следует, что ЭП должны допускать возможность реализации эффективных первичных детекторов, при помощи которых ЭП будут распознаваться.

ЭП аналогичны просто «понятиям» из работы [15]. В описаниях на предлагаемом языке между ЭП будут задаваться отношения, которые в ходе интерпретации языка будут преобразовываться в ребра графа описания. В процессе распознавания будет осуществляться обход графа, и, вообще говоря, не гарантируется, что этот обход будет однократным (или хотя бы выполняться за время, кратное числу вершин или ребер). Для универсальной процедуры распознавания, вероятно, понадобится многократный обход графа с тем большей кратностью, чем менее надежные результаты предоставлены первичными детекторами и, соответственно, чем больше придется полагаться не на саму детекцию элементарных понятий, а на проверку отношений между ними. Это приводит к требованию того, чтобы отношения между элементарными понятиями были достаточно легко проверяемыми, т.е. их проверки были реализуемыми в виде быстрых процедур.

Существенным требованием является то, что язык должен быть пригоден для создания описаний людьми, а именно описания должно быть достаточно компактными, чтобы их можно было создавать вручную, должны обладать прозрачной логикой и создаваться в рамках понятий, доступных человеку.

Наконец, язык должен быть в достаточной степени универсальным, т.е. подходящим для описания достаточно широкого множества объектов.

В результате получается следующий список требований к языку:

1. Возможность реализации эффективных первичных детекторов для элементарных понятий.

2. Возможность реализации эффективных процедур проверки отношений между понятиями.
3. Пригодность языка для написания на нем текстов непосредственно человеком, без использования автоматизированных генераторов кода.
4. Универсальность.

На универсальности стоит остановиться подробнее. Идеальным было бы создание языка, пригодного для описания любых объектов, которые можно распознать по их изображению. К сожалению, это едва ли возможно – ввиду расплывчатости самого понятия «объект» (точнее, единственные языки, которые представляются для этого пригодными – это естественные человеческие языки, формализация которых затруднительна). Следовательно, множество описываемых объектов неизбежно будет ограничено. В данной работе предлагается язык для описания следующего класса объектов: изделий, которые можно описать при помощи конструкторской документации (чертежей). Сюда входят все предметы, создаваемые промышленностью и значительная часть вообще всех рукотворных изделий. Таким образом, предлагаемый язык можно считать в достаточной мере универсальным.

2. Элементарные понятия языка

Из всех свойств описываемых объектов введем в язык две категории свойств, которые можно обнаружить на изображениях предметов: геометрическую форму и окраску. Именно эти свойства станут элементарными понятиями, распознаваемыми первичными детекторами.

Введем в язык понятие *формы*, которая и будет характеризоваться своей геометрией. Форма – это часть распознаваемого объекта, выявляемая на изображении при помощи первичного детектора, имеющего информацию только о геометрических свойствах данной части.

Другим элементарным понятием будет *цветовая характеристика*, которая задает окраску объекта. Сущность цветовой характеристики будет раскрыта ниже, в соответствующем разделе.

Между объектами языка задаются связи. Наиболее простая из них – связь между формой и окраской («данная форма имеет данную окраску»). Также задаются связи между формами, которые представляют собой ограничения на взаимное геометрическое расположение форм. Виды и способы задания таких связей будут подробно рассмотрены после описания видов самих форм.

3. Формы

Все формы, входящие в язык, располагаются в трехмерном пространстве.

Язык включает следующие классы форм.

1. Нуль-мерные (точечные) формы. Это, как правило, малые формы, точные геометрические границы которых при распознавании определять нецелесообразно. Они детектируются просто как бесформенное пятно. Например, таковыми являются малые сигнальные лампочки и индикаторы. Эти формы не описываются никакими геометрическими параметрами.
2. Одномерные формы (линии). Формы, вырождающиеся на изображении в линию малой толщины. Тонкие веревки, стержни, палки и т.п. Способы задания геометрии таких форм будут описаны ниже.
3. Двумерные формы, которые соответствуют в реальном мире объектам пренебрежимо малой толщины, а также внешним поверхностям прочих объектов. Рассматриваются три вида двумерных форм: плоская фигура, форма вращения и фигура на поверхности Безье. Первые два вида форм представляют собой два важнейших частных случая, весьма распространенных в существующих изделиях и достаточно легких как для применения в описании объектов человеком, так и для создания первичных детекторов. Поверхности Безье предлагают общее решение для всех остальных случаев, т.к. позволяют аппроксимировать любые гладкие поверхности. Способы задания двумерных форм будут описаны ниже.
4. Трехмерные формы (тела) представимы в виде композиции двумерных форм, составляющих их внешнюю поверхность. Однако некоторые тела обладают определенными замечательными свойствами при проекции на матрицу камеры, поэтому для них целесообразно использование специализированного первичного детектора. Например, такая форма как шар в проективном преобразовании во всех случаях дает круг, а границы изображения цилиндра или усеченного конуса всегда состоят из двух отрезков прямых и двух дуг эллипса (при условии, что камера не может находиться внутри формы). По этой причине ряд таких тел включен в язык в качестве элементарных форм. Список поддерживаемых языком элементарных трехмерных форм предполагается сделать открытым и пополняемым по мере создания соответствующих первичных детекторов.

Среди одномерных форм выделяются следующие:

- прямые линии (отрезки). Задаются своей длиной;

- дуги окружности. Задаются радиусом и углом раствора. Частный случай – полная окружность, это дуга с раствором 360 градусов.

Для задания более сложных кривых используются кубические кривые Безье [16]. Линия составляется из некоторого числа сегментов, каждый из которых является кубической кривой Безье. Для линии задаются опорные точки – точки стыков сегментов, а также направляющие точки, определяющие направление и кривизну линии на стыках сегментов. Для последнего сегмента также задаются координаты его свободного конца. Считается, что кривая выходит из начала координат, поэтому для первого сегмента координаты свободного конца не задаются. Кривая в общем случае не является плоской, т.е. все точки, включая направляющие, заданы трехмерными координатами.

Особый вид одномерных форм – свободные (гибкие) линии – т.е. линии, геометрия которых может меняться. Эти формы представляют собой всевозможные нити, провода, веревки и т.п. У таких форм единственный собственный атрибут – длина (по которой можно установить максимальную длину изображения линии). Их конкретная геометрическая форма не является инвариантной на множестве их изображений. Единственный сохраняющийся инвариант – это длина объекта. Именно она будет единственным описываемым в нашем языке свойством таких форм.

Следует заметить, что при задании форм не имеет значения их привязка к конкретному положению и ориентации в пространстве. Поэтому в описаниях форм, по возможности, оставлена только информация, инвариантная к преобразованиям движения. В частности, для отрезков, вместо координат концов, задается лишь длина. Аналогично для дуг окружности не задается координат центра, и указывается только один угол раствора (а не два угла, ограничивающие дугу с двух сторон), а для кривых Безье не задаются координаты ее начала.

Плоские двумерные формы задаются своими границами. Граница плоской формы – это замкнутая кривая линия без самопересечений. Граница составляется из сегментов, каждый из которых является либо отрезком, либо дугой окружности, либо кривой Безье.

Задание сегментов границ сходно с заданием одномерных объектов, однако в данном случае важны расположение и ориентация сегментов друг относительно друга, поэтому сегменты задаются точными геометрическими координатами, учитывающими расположение и ориентацию: отрезки – координатами концов, дуги – координатами центра

и двумя углами, кривые Безье – двумерными координатами всех точек, включая направляющие.

Для форм на поверхностях Безье необходимо задать саму поверхность Безье. Бикубическая поверхность Безье определяется 16-ю точками, через 4 из которых (опорные) она проходит, а остальные 12 (направляющие) задают кривизну и скручивание поверхности в углах [16]. Для задания границы фигуры на поверхности Безье определена параметрическая система координат, в которой опорные точки имеют координаты (0,0), (0,1), (1,0) и (1,1) (рис. 1).

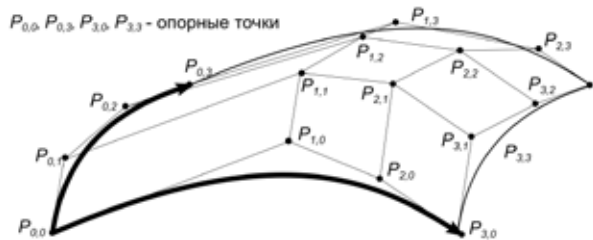


Рис. 1. Задание поверхности Безье 16-ю точками

Формально плоские фигуры являются частным случаем форм на поверхности Безье, однако первичные детекторы для таких форм могут быть существенно оптимизированы. В частности, отрезок прямой на плоскости остается отрезком прямой независимо от ориентации этой плоскости – соответственно для него можно применять первичные детекторы прямых границ. Линия же, являющаяся отрезком прямой во внутренних координатах поверхности Безье, в реальности, вообще говоря, окажется отрезком кривой, форма которой не будет инвариантна относительно проективных преобразований (т.е. вид этой кривой с точки зрения снимающей камеры заранее определить сложнее). Поэтому и первичный детектор для нее будет использован другой, более сложный, более медленный и, возможно, менее надежный.

Особый вид двумерных форм – формы вращения. Принципиально их можно аппроксимировать формами на поверхностях Безье (возможно, несколькими склеенными формами), однако, во-первых, приблизить формы вращения при помощи такой аппроксимации – довольно сложная задача для человека (напомним, что предлагаемый язык должен быть пригоден для непосредственного использования людьми), а во-вторых создание первичных детекторов для поверхностей вращения может оказаться проще, нежели для поверхностей Безье.

Форма вращения задается линией, которую будут вращать, и углом раствора вращения (аналогично раствору дуги окружности). Вращение про-

изводится вокруг координатной оси Oy той системы координат, в которой задана линия.

Предложенные способы задания форм не исчерпывают все способы описания геометрических форм, применяемые в конструкторской документации. Однако любые более сложные формы можно рассматривать как композицию простых, например, с помощью поверхностей Безье можно хорошо аппроксимировать любую поверхность. При этом разбиение объекта на большое число составляющих усложняет построение модели человеком, поэтому хотелось бы избежать чрезмерного дробления. Поэтому, например, аппроксимация поверхностей плоскими гранями не предпочтительна, т.к. слишком трудоемка для ручного выполнения.

Вместе с тем представление объекта в виде множества более мелких форм облегчает создание процедуры его распознавания, так как упрощает разработку первичных детекторов для выявления элементарных форм. В связи с этим для разрабатываемого языка предлагается компромисс между удобством языка для неавтоматизированного создания описаний непосредственно человеком и возможностью реализации эффективных первичных детекторов.

4. Геометрические отношения между формами

Распознаваемые объекты редко состоят из единственной элементарной формы. Большинство объектов реального мира требуют для описания комбинации форм. Для задания цельного объекта из набора форм необходимо задать ограничения на взаимное расположение форм, которые будем называть *геометрическими отношениями*.

Для дальнейшего нам понадобится понятие *внутренней системы координат* (ВСК) формы – это трехмерная система координат, связанная с формой.

Для большинства форм ВСК декартова. Случаи, когда это не так, будут отдельно отмечены.

Для нуль-мерных форм ВСК – прямоугольная система координат с началом координат в центре формы.

Для одномерных прямолинейных форм начало координат ВСК совпадает с одним из концов фигуры, ось Ox совпадает с протяженностью форм. Для дуг окружностей начало координат совпадает с центром окружности, сама дуга лежит в плоскости Oxy . Ось Oy идет в направлении радиус-вектора, от которого начинается дуга. Для кривых Безье ВСК –

та система координат, в которой заданы опорные точки кривой. Для гибких линий ВСК не является декартовой: x -координата – это расстояние до начала линии вдоль линии, две другие координаты не используются. Таким образом, в данной ВСК можно задавать только точки, лежащие на линии.

Для плоских фигур оси Ox и Oy ВСК совпадают с соответствующими осями той системы координат, в которой заданы границы фигуры.

Для форм на поверхностях Безье есть два разумных варианта задать ВСК. Первый – выбрать в качестве ВСК ту систему координат, в которой заданы опорные точки плоскости. Эта система (назовем ее *глобальной*) будет обычной декартовой системой координат в пространстве. Однако в этой системе координат не очевидно, какие точки лежат на самой поверхности, а какие вне (чтобы это определить, необходимо рассчитать поверхность). Альтернативой является система координат, x - и y -координаты которой совпадают с внутренними x - и y -координатами поверхности Безье (т.е. это те координаты, в которых заданы границы формы), а z -координата характеризует расстояние до поверхности. Точнее, для определения координат точки A проведем через нее прямую, параллельную оси Oz той СК, в которой заданы опорные точки поверхности. Обозначим точку пересечения этой прямой с поверхностью Безье как A' . x - и y -координатами точки A будем считать координаты точки A' во внутренней системе координат поверхности, а z -координатой точки A будем считать длину отрезка AA' . Назовем такую ВСК *локальной*. На рис. 2 $Oxyz$ – глобальная система координат, A_x, A_y, A_z – координаты точки A в локальной ВСК. Предпочтение локальной или глобальной ВСК не очевидно, в разных случаях удобно использовать разную ВСК. Язык предоставит возможность работы в обеих системах, по выбору пользователя.

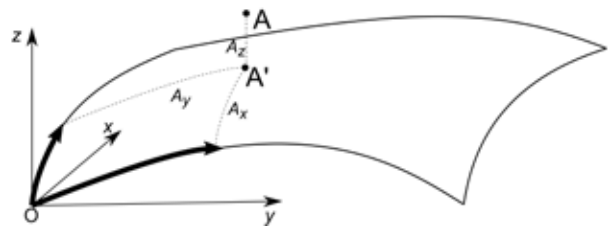


Рис. 2. Локальная система координат поверхности Безье

Для трехмерных форм начало координат и оси ВСК выбираются так, чтобы, по возможности, совпадать с центрами и осями симметрии форм либо другими замечательными точками и прямыми. Для шара началом координат являет-

ся его центр, направление осей равнозначно. Для цилиндра начало координат – середина его оси симметрии, ось Oz совпадает с осью симметрии, направления же ортогональных осей Ox и Oy равнозначны. Для конуса началом координат назначается его вершина, а направления осей аналогичны цилиндру. Для усеченного конуса направления осей такие же, а началом координат назначается центр меньшего основания,

Простейший вид геометрического отношения – жесткая связь двух форм (когда две формы представляют собой единое твердое тело). Из всех возможных способов формализации жесткой связи выберем один, достаточно удобный для задания человеком.

В нижеследующем описании полагается, что все точки с индексом 1 лежат на первой из форм, участвующих в геометрическом отношении, а точки с индексами 2 – на второй форме. Выберем для двух связываемых форм пару точек A_1 и A_2 (назовем их *точками крепления*) – предполагается, что данные точки в данной связи будут совмещены. Выберем также еще две пары точек B_1, B_2 и C_1, C_2 , задающих две пары векторов A_1B_1, A_2B_2 и A_1C_1, A_2C_2 , причем $\forall i: A_iB_i \perp A_iC_i$. Предполагается, что пара векторов A_1B_1 и A_2B_2 , а также пара A_1C_1 и A_2C_2 в данном совмещении форм будут коллинеарны и сонаправлены. Назовем A_iB_i и A_iC_i *векторами ориентации*. Описанный набор условий задает жесткую связь двух форм. В примере на рис. 3 предполагается, что обе формы плоские, и в данной связи их плоскости ортогональны.

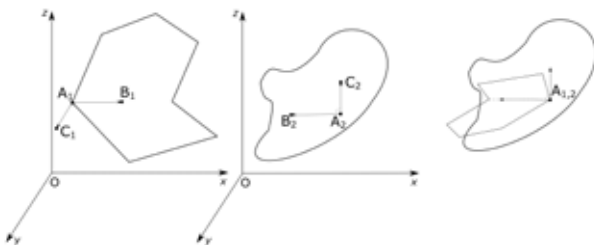


Рис. 3. Задание жесткой связи между фигурами

Иногда для объектов необходимо задавать нежесткую связь. Связь может быть нежесткой по сдвигу (когда одна форма может двигаться поступательно относительно другой), и по повороту (когда допустимо вращение одной формы относительно другой). При задании таких связей придется перейти от точек крепления к множествам крепления и от векторов ориентации к многообразиям ориентации. Подробное описание способов задания нежесткой связи в данную работу не включено.

5. Задание цветовой характеристики

Рассмотрим теперь вопрос, как можно формально описать цветовые характеристики объекта. Теория цветовосприятия оперирует двумя основными понятиями – окраской и цветом, причем они не являются синонимами, а различаются фундаментально. Окраска – это собственное свойство объекта, не зависящее от условий наблюдения. Цвет же, согласно Шредингеру [17], относится к излучениям и является общим их свойством вызывать одинаковые визуальные ощущения. Понятие же цвета объекта формального определения не имеет вовсе. Но из данных, накопленных психофизиологией, ясно, что цвет объекта, как результат восприятия, определяется цветочувствительными свойствами сенсора и спектральными характеристиками всей совокупности излучений, им регистрируемых. То есть цвет объекта зависит и от цветовых характеристик источников света, и от окраски объекта, и от окружения, в котором объект наблюдается. Все это делает цвет слабопредсказуемой характеристикой. Разумно спроектированная распознающая система должна использовать понятие окраски объекта.

Если не рассматривать самосветящиеся, фотолуминесцирующие и прозрачные объекты, а также пренебречь нелинейно-оптическими эффектами, то окраска объекта сведется к характеристикам рассеяния света на поверхности. Для их формального описания используется спектральная двулучевая функция отражательной способности (СДФОС) [18, 19] f_λ , задающая в данной точке поверхности отношение спектральной яркости поверхности dL к ее освещенности dE для каждой длины волны λ при любых фиксированных направлениях освещения $\vec{\omega}_i$ и наблюдения $\vec{\omega}_r$:

$$f_\lambda(\lambda, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) = \frac{dL(\vec{\omega}_r)}{dE(\vec{\omega}_i)}, \quad \|\vec{\omega}_i\| = 1, \quad \|\vec{\omega}_r\| = 1.$$

На СДФОС накладываются следующие ограничения:

$$f_\lambda \geq 0; \quad f_\lambda(\lambda, \vec{p}, \vec{q}) = f_\lambda(\lambda, \vec{q}, \vec{p}); \\ \int_{\Omega} f_\lambda(\lambda, \vec{\omega}_r, \vec{\omega}_i)(\vec{\omega}_r \cdot \vec{n}) d\vec{\omega}_r \leq 1, \quad \|\vec{n}\| = 1,$$

где Ω – развернутый телесный угол, а \vec{n} – нормаль к поверхности.

Описание окраски с помощью СДФОС общего вида чрезмерно громоздко. Но при некоторых ограничениях СДФОС оказывается представима в следующем виде:

$$f_\lambda(\lambda, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) = \sum_k \Phi_k(\lambda) f_k(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r),$$

$$\Phi_k(\lambda) \geq 0, \quad \sum_k \Phi_k(\lambda) \leq 1,$$

$$\int_\Omega f_k(\vec{\omega}_r, \vec{\omega}_i) (\vec{\omega}_r \cdot \vec{n}) d\vec{\omega}_r = 1.$$

Будем называть $f_k(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r)$ интегральной двулучевой функцией отражательной способности (ИДФОС) k -ой компоненты отражения, а $\Phi_k(\lambda)$ – соответствующим спектральным распределением. Количество значимых членов этой суммы зависит от материала поверхности. Наиболее часто цитируемая в литературе аппроксимация СДФОС называется дихроматической моделью отражения (ДМО). Она предложена Шефером [20] для негомогенных диэлектриков и имеет два слагаемых. Из модели следует, что для любого угла падения света рассеяние определяется линейной комбинацией интерфейсной (поверхностной) компоненты отражения и т.н. «телесной» компоненты рассеяния в приповерхностном слое. В наиболее распространенном варианте модель предполагает, что поверхностная компонента СДФОС не зависит от длины волны:

$$f_\lambda(\lambda, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) = \Phi_1(\lambda) f_1(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) + \Phi_2 f_2(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r)$$

Эта модель называется в литературе стандартной ДМО (СДМО) или *neutral-interface-reflection* моделью [21]. СДМО описывает, например, краски и лаки, керамику, фарфор, бумагу, пластики и прочие материалы со сходным строением поверхностного слоя, а также природные объекты, такие как фрукты, листья, масло, вода и кожа человека [21–23]. Другие материалы (например, некоторые ткани) описываются вариантом ДМО (ее называют обобщенной ДМО, ОДМО), в котором зеркальная компонента зависит от длины волны, что влечет изменение цветности отражаемого излучения [22].

Уточненную модель отражения для металлов первым ввел Хили [24], назвав ее унихроматической моделью отражения (УМО). В ней отражательные свойства металлов определяются только компонентой поверхностного отражения, то есть СДФОС приближается одним произведением, причем, как в ОДМО, зависимость от длины волны остается. Впоследствии Томинага, проведя ряд экспериментов, уточнил модель добавлением второй компоненты поверхностного отражения, вклад которой зависит от угла падения луча [22]. Поскольку в модели Томинаги второй член не зависит от длины волны, она совпадает со СДМО. Впрочем, для большинства приложений по-прежнему используются УМО, поскольку ее точность вполне достаточна.

Таким образом, если для диэлектриков использовать СДМО, то в разложении СДФОС для всех рассмотренных материалов будет фигурировать только одна спектральная функция. Именно она задает цветностные характеристики объекта.

Предлагаемые упрощения описания окраски были бы малоосмысленными, если бы требовали задания произвольной функции, пусть и всего одного аргумента. К счастью, способы задания спектральных функций небольшим числом параметров уже известны. Они развивались в области цветового технического зрения, связанной с созданием алгоритмов цветовой константности (АЦК). Разработчики АЦК используют линейные спектральные модели (ЛСМ), в которых пространство спектральных функций ограничивается трехмерным линейным подпространством [25]:

$$\Phi_k(\lambda) = \vec{l} \cdot \vec{L}(\lambda), \quad L_i(\lambda) \geq 0, \quad \sum_i L_i(\lambda) \leq 1, \quad 0 \leq l_i \leq 1, \quad 1 \leq i \leq 3,$$

а также мультипликативно замкнутые модели (МЗСМ), в которых линейный базис вводится для логарифма спектральной функции [26]:

$$\Phi_k(\lambda) = \exp(\vec{m} \cdot \vec{M}(\lambda)), \quad M_i(\lambda) \leq 0, \quad m_i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq 3.$$

Единственной моделью, принадлежащей обоим классам, является спектрально-аналитическая модель, базисом которой являются три функции, равные 1 на конечных непересекающихся носителях. Использование ЛСМ приводит к более простым алгоритмам, но делает невозможным описание насыщенных цветов произвольного тона. Этого недостатка лишены некоторые МЗСМ, например, гауссовская [26]. Идеальными свойствами цветопередачи обладает МЗСМ, неудачно названная бесселевской [27]. По аналогии с гауссовской она должна называться фонмизесовской, поскольку в ней шкала длин волн считается циклической, а спектры задаются распределением фон Мизеса. Выбор конкретной модели зависит от алгоритмов распознавания, которые предполагается использовать [28]. Но при использовании любой спектральной модели, рассчитанной на наблюдателя-трихромата, оказывается достаточно трех параметров. Таким образом, спектральные характеристики УМО требуют трех, а СДМО – четырех параметров, включая Φ_2 , светлоту поверхностной компоненты.

Цветовое разнообразие окрасок своей основой имеет относительно небольшой набор пигментов. Поэтому вместо аналитических моделей для задания цветовых характеристик окрасок мог бы использоваться специализированный справочник. Примером такого справочника является цветовой атлас Манселла для стандартного освещения (*Munsell Book of Color*) [29]. Есть и несколько дру-

гих, например, европейский NCS и российский атлас Рабкина. Но поскольку эти атласы предназначены для определения цвета объекта путем визуального сравнения, то число различных пигментов в каждом из атласов минимально, в них нет метамерных окрасок. Более подходящим является атлас окрасок Кринова [30], содержащий спектральные распределения коэффициента отражения тысячи образцов природных окрасок. Наряду с манселловским, он используется в АЦК для идентификации окрасок [31, 32]. Однако атлас Кринова для наших задач явно недостаточен по охвату.

Как было сказано выше, помимо спектральных характеристик в СДМО и УМО входят сомножители, не зависящие от длины волны – ИДФОС. Они зависят от фактуры материала и, в случае СДМО, структуры приповерхностного слоя. Основной наблюдаемой характеристикой, зависящей от ИДФОС, является глянецность поверхности [33]. Модель Фонга, по-видимому, простейшая аналитическая модель, явно содержащая этот параметр. Будем считать ИДФОС телесной компоненты ламбертовой ($f_1(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) = \vec{\omega}_i \cdot \vec{n}$), тогда глянецность γ будет зависеть от близости ИДФОС поверхностной компоненты к зеркальной:

$$f_2(\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r) = (\vec{\omega}_i' \cdot \vec{\omega}_r')^\gamma, \quad \vec{\omega}_i' = 2(\vec{\omega}_i \cdot \vec{n})\vec{n} - \vec{\omega}_i.$$

Строго говоря, глянецность проявляет себя не только в резкости блика, но и в интенсивности, также различают и другие параметры глянецности [34]. Приборы, названные “glossmeters”, позволяющие оценивать соотношение зеркальной и телесной компоненты отраженного света, стандартизованы [35] и давно и широко используются в технике для измерения глянецности. Однако они опираются на модели поляризации при рассеянии и довольно часто их показания не совпадают с человеческим восприятием [37]. Поэтому в последние годы развивается подход к оцениванию глянецности по прямым измерениям полной СДФОС [36, 37].

Нимеров [38] указал на то, что трехпараметрическое представление выраженности зеркальной компоненты (полуширина, асимметрия и

острота пика) более подходит для описания глянецности, чем одна оценка остроты. При этом два последних параметра наиболее близко коррелируют с человеческой оценкой [37]. Модели глянецности для компьютерной графики, основанные на ДФОС, также обычно используют трехпараметрическое описание [39]. Однако на сегодняшний день неизвестны алгоритмы оценки параметров таких моделей в неконтролируемых условиях, а также сомнительно, что неподготовленные операторы могли бы указать (тем или иным образом) параметры глянецности в рамках такой модели. По крайней мере – до тех пор, пока не созданы атласы глянецности.

Подытоживая, мы предлагаем описывать окраску объекта 6 параметрами: бинарный параметр металл/диэлектрик, 4 спектральных параметра (один из них равен нулю в случае металла) и параметр глянецности.

6. Синтаксис языка

Структура предложенного языка достаточно традиционна, поэтому разрабатывать специальный синтаксис для него не представляется целесообразным. Можно воспользоваться любым из существующих языков представления данных, например, XML, JSON или YAML. В данной статье приведен пример в синтаксисе JSON5.

7. Пример описания распознаваемого объекта

В качестве примера использования сконструированного языка приведем описание на нем совковой лопаты со стальным лотком 20x30 см и желтой пластиковой ручкой длиной 1,5 м (рис. 4).

Лоток лопаты состоит из изогнутого полотна, заданного фигурой на поверхности Безье и трех плоских бортов. К лотку под углом прикреплен черенок, заданный одномерной формой – отрезком. Все координаты заданы в миллиметрах, кроме координат в локальной ВСК поверхности Безье.

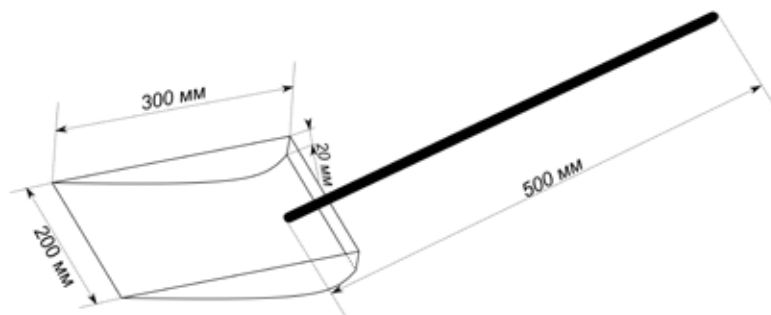


Рис. 4. Описываемый объект – совковая лопата

Ниже приведен текст описания:

```

«окраска_лотка» : { тип : «цветовая_характеристика»,
  тип_материала : «металл», i1 : 0.2, i2 : 0.2, i3 : 0.2, гамма : 12.812},
«окраска_черенка» : { тип : «цветовая_характеристика»,
  тип_материала : «диэлектрик», i1 : 0.82, i2 : 0.8, i3 : 0.11, Phi2 : 0.169, гамма : 9.636}
«полотно» : { тип : «форма», тип_формы : «фигура_на_поверхности_безье»,
  матрица_кривизны_поверхности : [
    [[0,0,0], [50,0,0], [100,0,0], [200,0,0]],
    [[0,200,50], [50,200,50], [100,200,50], [200,200,50]],
    [[0,250,50], [50,250,50], [100,250,50], [200,250,50]],
    [[0,300,20], [0,300,20], [0,300,20], [0,300,20]]],
  граница : [
    { тип_сегмента : «отрезок», конец1 : [0,0], конец2 : [0,1] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [1,1] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [1,0] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [0,0] }, ],
  окраска : «окраска_лотка» }
«боковой_борт1» : { тип : «форма», тип_формы : «плоская_фигура»,
  граница : [
    { тип_сегмента : «отрезок», конец1 : [0,0], конец2 : [300,0] },
    { тип_сегмента : «кривая_безье», опорная_точка2 : [0,0],
      направляющая_точка1 : [250,50], направляющая_точка2 : [250,50] }],
  окраска : «окраска_лотка» }
«боковой_борт2» : { /* полностью аналогичен форме боковой_борт1 */ }
«задний-борт» : { тип : «форма», тип_формы : «плоская_фигура»,
  граница : [
    { тип_сегмента : «отрезок», конец1 : [0,0], конец2 : [200,0] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [200,20] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [0,20] },
    { тип_сегмента : «отрезок», конец2 : [0,0] }],
  окраска : «окраска_лотка» }
«черенок» : { тип : «форма», тип_формы : «отрезок»,
  длина : 1500, окраска : «окраска_черенка» },
«связь_полотна_с_боковым_бортом1» : { тип : «связь», тип_связи : «жесткая_связь»,
  форма1 : «полотно», форма2 : «боковой_борт1»,
  ВСК1 : «глобальная», точка_крепления1 : [0,0,0], точка_крепления2 : [0,0,0],
  точка_вектора_ориентацииВ1 : [0,1,0], точка_вектора_ориентацииС1 : [1,0,0],
  точка_вектора_ориентацииВ2 : [0,1,0], точка_вектора_ориентацииС1 : [0,0,-1] }
«связь_полотна_с_боковым_бортом2» : { тип : «связь», тип_связи : «жесткая_связь»,
  форма1 : «полотно», форма2 : «боковой_борт2»,
  ВСК1 : «глобальная», точка_крепления1 : [200,0,0], точка_крепления2 : [0,0,0],
  точка_вектора_ориентацииВ1 : [0,1,0], точка_вектора_ориентацииС1 : [201,0,0],
  точка_вектора_ориентацииВ2 : [0,1,0], точка_вектора_ориентацииС1 : [0,0,-1] }
«связь_полотна_с_задним_бортом» : { тип : «связь», тип_связи : «жесткая_связь»,
  форма1 : «полотно», форма2 : «задний_борт»,
  ВСК1 : «глобальная», точка_крепления1 : [0,300,0], точка_крепления2 : [0,0,0],
  точка_вектора_ориентацииВ1 : [0,299,0], точка_вектора_ориентацииС1 : [0,0,1],

```

точка_вектора_ориентацииB2 : [1,0,0], точка_вектора_ориентацииC1 : [0,1,0] }
 «связь_полотна_с_черенком» : { тип : «связь», тип_связи : «жесткая_связь»,
 форма1 : «полотно», форма2 : «черенок»,
 ВСК1 : «локальная», точка_крепления1 : [0.5,0.75,0], точка_крепления2 : [0,0,0],
 точка_вектора_ориентацииB1 : [0,0.25,20], точка_вектора_ориентацииC1 : [0,1,0],
 точка_вектора_ориентацииB2 : [1,0,0], точка_вектора_ориентацииC1 : [0,1,0] }

Заключение

В настоящей работе предложен язык описания свойств распознаваемых объектов в отсутствие примеров. Особенностью данного языка является его достаточная универсальность, а именно применимость для задания свойств объектов, которые можно описать при помощи конструкторской документации. Язык создан с учетом требований, предъявляемых системами распознавания образов и пригоден для использования в качестве инструмента описания распознаваемых объектов в таких системах. Достоинством языка является компактность и наглядность выполненных на нем описаний и, как следствие, применимость для непосредственного создания описаний человеком.

Язык основан на описании свойств геометрической формы и окраски составных частей объекта, а также на установлении связей между составными частями. Описание объекта на языке представляет собой набор описаний геометрических форм, задание для форм информации об окраске, и описание геометрических отношений между формами.

Для некоторых свойств объектов на данный момент не удалось создать достаточно универсальных способов их описания. Разработке таких способов планируется посвятить дальнейшие исследования.

Литература

1. *Friedhelm Schwenker, Edmondo Trentin*, "Pattern classification and clustering: A review of partially supervised learning approaches", *Pattern Recognition Letters*, Volume 37, February, 2014
2. *Christopher M. Bishop*, "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 1995
3. *Jayanta Kumar Basu, Debnath Bhattacharyya, Tai-hoon Kim*, "Use of Artificial Neural Network in Pattern Recognition", *International Journal of Software Engineering and Its Applications* Vol. 4, No. 2, April 2010
4. *Lopez de Mantaras R., Aguilar J.* "Self-learning Pattern Classification using a Sequential Clustering Technique", *Pattern Recognition Journal* 3/4, 1985
5. *Viola P., Jones M.* "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*
6. *Arindam Saha, Nitupon Talukdar*, "Typed Character Recognition using ANN", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Volume 5, Issue 4, April 2016
7. *Sermanet, Pierre, Lecun, Yann*, "Traffic sign recognition with multi-scale Convolutional Networks", *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks*, 2011.
8. *Anand Sumatilal Jain, Jayshree M. Kundargi*, "Automatic Number Plate Recognition Using Artificial Neural Network", *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2015
9. Марченко А.Е., Ершов Е.И., Гладиллин С.А. Система разбора документа, заданного атрибутами структурных элементов и отношениями между структурными элементами // *Труды Института системного анализа РАН*, 2017, Т. 67, № 4. С. 87-97.
10. *Kyungnam Kim*, "Face recognition using principle component analysis", *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1996.
11. *Marian Stewart Bartlett, Member, Javier R. Movellan, Terrence J. Sejnowski*, "Face Recognition by Independent Component Analysis", *IEEE Transactions On Neural Networks*, Vol. 13, No. 6, November 2002
12. *Weihong Deng, Jiani Hu, Jun Guo, Weidong Cai, Dagan Feng*, "Robust, accurate and efficient face recognition from a single training image: A uniform pursuit approach", *Pattern Recognition*, Volume 43 Issue 5, New York, NY, USA, May 2010
13. *Xiaogang Wang, Xiaoou Tang*, "Face Photo-Sketch Synthesis and Recognition", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume 31, Issue 11, November 2009
14. *Постников В.В.* Автоматическая идентификация и распознавание структурированных документов. Диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 Москва, 2001 126 с. : 61 02-5/365-8.
15. *Тепляков Л., Григорьев А., Кунина И., Гладиллин С.* Апробация подхода к распознаванию

- объектов, заданных формальным описанием наблюдаемых свойств, на примере задачи поиска отдельных строений на аэрофотоснимках // Сенсорные системы. – 2018. – Т. 32.
16. Шикин Е.В., Плис Л.И. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по сплайнам для пользователей. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996 г.
 17. Schrödinger E. “Grundlinien einer Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen. Annalen der Physik”, 1920, 368(63), 397-426
 18. Nicodemus FE, Richmond JC, Hsia JJ, Ginsberg IW, Limperis T. “Geometric considerations and nomenclature for reflectance”, Natl Bur Stand. 1977; 160:1–52
 19. Nikolaev D.P and Nikolayev P.P., “Linear color segmentation and its implementation”, Computer vision and image understanding, Vol. 33(1), pp. 115-139, 2004.
 20. Shafer S., “Using color to separate reflection components”, Color research and applications. 10, 210-218 (1985).
 21. Lee H.C., Breneman E.J. and Schulte C., “Modeling light reflection for computer color vision”, IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 12, 402-409 (1990).
 22. Tominaga S., “Dichromatic reflection models for a variety of materials”, Color Res Appl., 19(4):277-285, 1994.
 23. E. Marszalec, B. Martinkauppi, M. Soriano, and M. Pietikainen. “Physics-based database for color research”, Journal of Electronic Imaging, 9 (1), 32-38, 2000.
 24. Healey G., “Using color for geometry-insensitive segmentation”, J. Opt. Soc. Am. A. Vol. 6, pp. 920-937, 1989.
 25. Maloney E., “Evaluation of linear models of surface spectral reflectance with small number of parameters”, J.Opt. Soc. Amer. 1986. V.3. No10. PP.1673–1683.
 26. Nikolaev D.P., Nikolayev P.P., “Comparative analysis of Gaussian and linear spectral models for colour constancy”, 19 European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2005. Riga, Latvia. P. 300–305.
 27. Николаев Д.П., Николаев П.П. Спектральные модели и алгоритмы цветовой константности // Интеллектуальные системы и Интеллектуальные САПР: Труды международной конференции IEEE AIS’07 и CAD–2007. М.: Физматлит, 2007. Т.2 С.117–125.
 28. Николаев П.П., Карпенко С.М., Николаев Д.П. Спектральные модели цветовой константности: правила отбора. Труды ИСА РАН, 2008, Т. 38. С. 322-335.
 29. Birren F, Munsell Ed., “A grammar of color. A basic treatise on the color system of Albert H. Munsell”, New York: Van Nostrand Reinhold, 1969.
 30. Krinov E.L., “Spectral reflectance properties of natural formations”, Ottawa, ON, Canada: Nat. Res. Council of Canada, 1947.
 31. Parkkinen, J.P.S.; Hallikainen, J.; Jaaskelainen, T. “Characteristic spectra of Munsell colors”, J. Opt. Soc. Am. A, 1989, 6, 318–322.
 32. Vrhel M.J., Gershon R. and Iwan L.S. “Measurement and analysis of object reflectance spectra”, Color Res. Applicat., vol. 19, pp. 4–9, 1994.
 33. Chadwick A.C. and Kentridge R.W. “The perception of gloss: A review”, Vision Research 109 (2015) 221–235.
 34. Hunter R.S. “Methods of determining gloss”, J. Research Nat. Bureau Standards, V. 18, pp. 19-40, 1937.
 35. ISO 2813 (1978). Paint and varnishes: Measurement of the specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°. Geneva: International Organization for Standardization.
 36. Leloup et al. “Toward the soft metrology of surface gloss: A review”, Volume 39, Issue 6, 2014, 559–570 DOI: 10.1002/col.21846.
 37. Wang Z., Xu L., Hu Yu, Mirjalili F, and Luo M. “Gloss evaluation from soft and hard metrologies”, Journal of the Optical Society of America A, Vol. 34 (9), pp. 1679-1686 (2017).
 38. Nimeroff I. “Analysis of goniophotometric reflection curves”, J Opt Soc Am 1952; 42:579–583.
 39. Ward G. J. “Measuring and modeling anisotropic reflection”, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1992, 26(2), 265–272.

Марченко Алексей Евгеньевич. ООО «Когнитивные технологии», г. Москва, Россия. Разработчик программного обеспечения. Количество печатных работ: 7. Область научных интересов: информационные технологии, зрительные системы, распознавание образов. E-mail: alexey@cognitive.ru

Ершов Егор Иванович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 26. Область научных интересов: обработка изображений, компьютерное зрение, разработка и исследование алгоритмов распознавания образов. E-mail: ershov@iitp.ru

Шепелев Денис Александрович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 9. Область научных интересов: цветовая теория, компьютерное зрение, обработка изображений. E-mail: shepelev@iitp.ru

Сидорчук Дмитрий Сергеевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 14. Область научных интересов: компьютерное зрение, обработка изображений, цветовая теория. E-mail: ds-sidorchuk@yandex.ru

Божкова Валентина Петровна. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник, доктор биологических наук. Количество печатных работ: 120. Область научных интересов: биофизика и генетика сенсорных систем, компьютерное зрение, константность цветовосприятия. E-mail: bgk@iitp.ru

Николаев Дмитрий Петрович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, Россия. Заведующий лабораторией зрительных систем. Кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 190. Область научных интересов: компьютерное зрение, обработка изображений, распознавание образов, константность цветовосприятия. E-mail: dimonstr@iitp.ru

Designing of language of description of observable properties of recognized objects in the absence of samples

A.E. Marchenko^I, E.I. Ershov^{II}, D.A. Shepelev^{II}, D.S. Sidorchuk^{II}, V.P. Bozhkova^{II}, D.P. Nikolaev^{II}

^I Cognitive Technologies Ltd., Moscow, Russia

^{II} Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Abstract. Within the problem of object recognition with computer vision technologies, the problem of designing of language of description of properties of recognized objects in the absence of samples is concerned. The principles of such a language are proposed, the particular properties, which the language should be able to describe, are chosen. The methods of specification of these properties in the language concerned are proposed. The syntax of the language is discussed. An example of description of an object in the designed language is given.

Keywords: *computer vision, object recognition, description language, observable properties, geometrical shape, color.*

DOI: 10.14357/20790279180506

References

1. *Friedhelm Schwenker, Edmondo Trentin.* "Pattern classification and clustering: A review of partially supervised learning approaches", *Pattern Recognition Letters*, Volume 37, February, 2014
2. *Christopher M. Bishop.* "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 1995
3. *Jayanta Kumar Basu, Debnath Bhattacharyya, Tai-hoon Kim.* "Use of Artificial Neural Network in Pattern Recognition", *International Journal of Software Engineering and Its Applications* Vol. 4, No. 2, April 2010
4. *R. Lopez de Mantaras, J. Aguilar.* "Self-learning Pattern Classification using a Sequential Clustering Technique", *Pattern Recognition Journal* 3/4, 1985

5. *P. Viola, M. Jones*. “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features”, *Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*
6. *Arindam Saha, Nitupon Talukdar*. “Typed Character Recognition using ANN”, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Volume 5, Issue 4, April 2016*
7. *Sermanet, Pierre, Lecun, Yann*. “Traffic sign recognition with multi-scale Convolutional Networks”, *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks, 2011*.
8. *Anand Sumatilal Jain, Jayshree M. Kundargi*. “Automatic Number Plate Recognition Using Artificial Neural Network”, *International Research Journal of Engineering and Technology, 2015*
9. *Marchenko A.E., Ershov E.I., Gladilin S.A.* Sistema razbora dokumenta, zadannogo atributami strukturnykh elementov i otnosheniyami mezhdru strukturnymi elementami [System of Parsing of Documents Specified by Structure Item Attributes and Relations Between the Items]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza RAN [The Works of Institute of System Analysis of Russian Academy of Science], 2017, V. 67-4 – p. 87-97.*
10. *Kyunghnam Kim*. “Face recognition using principle component analysis”, *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1996*.
11. *Marian Stewart Bartlett, Member, Javier R. Movellan, Terrence J. Sejnowski*. “Face Recognition by Independent Component Analysis”, *IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 13, No. 6, November 2002*
12. *Weihong Deng, Jiani Hu, Jun Guo, Weidong Cai, Dagan Feng*. “Robust, accurate and efficient face recognition from a single training image: A uniform pursuit approach”, *Pattern Recognition, Volume 43 Issue 5, New York, NY, USA, May 2010*
13. *Xiaogang Wang, Xiaoou Tang*. “Face Photo-Sketch Synthesis and Recognition”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 31, Issue 11, November 2009*
14. *Postnikov V.V.* 2001. Avtomaticheskaya identifikatsiya i raspoznavanie strukturirovannykh dokumentov [Automatic structured documents identification and recognition]. *C. Sc. Diss. Moscow. 126 p.*
15. *Teplyakov L., Grigoryev A., Kunina I., Gladilin S.* Aprobatsiya podhoda k raspoznavaniyu obyektov, zadannykh formalnym opisaniem nablyudaemykh svoystv, na primere zadachi poiska otdelnykh stroeniy na aerofotosnimkah [Approbation of Approach to Recognition of Objects Specified by Formal Description of Observed Properties by Example of Problem of Searching of Separate Buildings on Airphotos]. *Sensornye systemy [Sensor systems], 2018, V.32*
16. *Shikin E.V., Plis L.I.* Krivye i poverhnosti na ekrane kompyutera. Rukovodstvo po splaynam dlya polzovateley [Curves and Surfaces on a Computer Screen: A Spline Guide for Users]. *DIALOG-MIFI, Moscow, 1996.*
17. *Schrödinger E.* “Grundlinien einer Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen. *Annalen der Physik*”, 1920, 368(63), 397-426
18. *Nicodemus FE, Richmond JC, Hsia JJ, Ginsberg IW, Limperis T.* “Geometric considerations and nomenclature for reflectance”, *Natl Bur Stand. 1977; 160:1–52*
19. *Nikolaev D.P and Nikolayev P.P.* “Linear color segmentation and its implementation”, *Computer vision and image understanding, Vol. 33(1), pp. 115-139, 2004.*
20. *Shafer S.* “Using color to separate reflection components”, *Color research and applications. 10, 210-218 (1985).*
21. *H.C. Lee, E.J. Breneman and C. Schulte* “Modeling light reflection for computer color vision”, *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 12, 402-409 (1990).*
22. *Tominaga S.* “Dichromatic reflection models for a variety of materials”, *Color Res Appl., 19(4):277-285, 1994.*
23. *E. Marszalec, B. Martinkauppi, M. Soriano and M. Pietikainen.* “Physics-based database for color research”, *Journal of Electronic Imaging, 9 (1), 32-38, 2000.*
24. *Healey G.* “Using color for geometry-insensitive segmentation”, *J. Opt. Soc. Am. A. Vol. 6, pp. 920-937, 1989.*
25. *Maloney E.* “Evaluation of linear models of surface spectral reflectance with small number of parameters”, *J.Opt. Soc. Amer. 1986. V.3. No10. PP.1673–1683.*
26. *Nikolaev D.P., Nikolayev P.P.* “Comparative analysis of Gaussian and linear spectral models for colour constancy”, *19 European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2005. Riga, Latvia. P. 300–305.*
27. *Nikolaev D.P., Nikolayev P.P.* Spektralnye modeli i algoritmy tsvetovoy konstantnosti [Spectral Models and Algorithms of Color Constancy]. *Intellectualnye sistemy i Intellectualnye SAPR: Trudy mezhdunarodnoy konferentsii IEEE AIS’07 i CAD-2007 [Intelligent Systems and Intelligent CADs: International IEEE AIS’07 and*

- CAD-2007 conference proceedings], V.2 P.117-125, Fizmatlit, Moscow, 2007.
28. *Nikolaev P.P., Karpenko S.M., Nikolaev D.P.* Spektralnye modeli tsvetovoy konstantnosti: pravila otbora [Spectral Models of Color Constancy: the Rules of Choice]. Trudy ISA RAN [The Works of Institute of System Analysis of Russian Academy of Science], V. 38, P. 322-335, 2008.
29. *F. Birren, Ed. Munsell* "A grammar of color. A basic treatise on the color system of Albert H. Munsell", New York: Van Nostrand Reinhold, 1969.
30. *E.L. Krinov* "Spectral reflectance properties of natural formations", Ottawa, ON, Canada: Nat. Res. Council of Canada, 1947.
31. *Parkkinen J.P.S. Hallikainen J. Jaaskelainen T.* "Characteristic spectra of Munsell colors", J. Opt. Soc. Am. A, 1989, 6, 318–322.
32. *M.J. Vrhel, R. Gershon, and L.S. Iwan* "Measurement and analysis of object reflectance spectra", Color Res. Applicat., vol. 19, pp. 4–9, 1994.
33. *A.C. Chadwick and R.W. Kentridge* "The perception of gloss: A review", Vision Research 109 (2015) 221–235.
34. *Hunter R.S.* "Methods of determining gloss", J. Research Nat. Bureau Standards, V. 18, pp. 19-40, 1937.
35. *ISO 2813 (1978)*. Paint and varnishes: Measurement of the specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°. Geneva: International Organization for Standardization.
36. *Leloup et al.* "Toward the soft metrology of surface gloss: A review", Volume 39, Issue 6, 2014, 559–570 DOI: 10.1002/col.21846.
37. *Wang Z., Xu L., Hu Yu, Mirjalili F., and Luo M.* "Gloss evaluation from soft and hard metrologies", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 34 (9), pp. 1679-1686 (2017).
38. *Nimeroff I.* "Analysis of goniophotometric reflection curves", J Opt Soc Am 1952; 42:579–583.
39. *Ward, G.J.* "Measuring and modeling anisotropic reflection", ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1992, 26(2), 265–272.

A. E. Marchenko. Developer, Cognitive Technologies ltd. 117312, 9 60-letiya Oktyabrya av., Moscow, Russia. E-mail: alexey@cognitive.ru

E. I. Ershov. Research assistant, Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, 127051, 19/1 Bolshoy Karetny lane, Moscow, Russia. E-mail: ershov@iitp.ru

D. A. Shepelev. Research assistant, Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, 127051, 19/1 Bolshoy Karetny lane, Moscow, Russia. E-mail: shepelev@iitp.ru

D. S. Sidorchuk. Research assistant, Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, 127051, 19/1 Bolshoy Karetny lane, Moscow, Russia. Email: ds-sidorchuk@yandex.ru

V. P. Bozhkova. Leading Researcher, Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, 127051, 19/1 Bolshoy Karetny lane, Moscow, Russia. E-mail: bgk@iitp.ru

D. P. Nikolaev. Head of the Laboratory of Vision Systems, Institute for Information Transmitting Problems (Kharkevich Institute) of Russian Academy of Science, 127051, 19/1 Bolshoy Karetny lane, Moscow, Russia. E-mail: dimonstr@iitp.ru