**Теория распознавания**

**Распознавание образов. Общие сведения**

***С задачей распознавания образов живые системы, в том числе и человек, сталкиваются постоянно с момента своего появления. В частности, информация, поступающая с органов чувств, обрабатывается мозгом, который в свою очередь сортирует информацию, обеспечивает принятие решения, а далее с помощью электрохимических импульсов передает необходимый сигнал далее, например, органам движения, которые реализуют необходимые действия. Затем происходит изменение окружающей обстановки, и вышеуказанные явления происходят заново. И если разобраться, то каждый этап сопровождается распознаванием.***

**Введение**

**С развитием вычислительной техники стало возможным решить ряд задач, возникающих в процессе жизнедеятельности, облегчить, ускорить, повысить качество результата. К примеру, работа различных систем жизнеобеспечения, взаимодействие человека с компьютером, появление роботизированных систем и др. Тем не менее, отметим, что обеспечить удовлетворительный результат в некоторых задачах (распознавание быстродвижущихся подобных объектов, рукописного текста) в настоящее время не удается. Таким образом, в этой статье предлагается обсудить методы и принципы, применяемые в вычислительной технике для выполнения поставленной задачи.**

**История возникновения искусственных систем автоматического распознавания и их реализации**

**Достаточно долгое время задача распознавания рассматривалась человеком со стороны биологического и психологического аспектов. При этом изучению подвергались лишь качественные характеристики, которые не позволяли точно описать механизм функционирования. Получение функциональных зависимостей было, как правило, связано с исследованием рецепторов органов слуха, осязания или зрения. Однако принципы формирования решения оставались загадкой. Считается, что основным заблуждением на заре исследования было мнение о том, что мозг функционирует по определенным алгоритмам, а следовательно, выяснив эту систему правил, можно ее воссоздать с помощью постоянно развивающихся вычислительных и технических средств.**

**Основанная Норбертом Винером в начале XX века новая наука, получившая название кибернетика (наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе), позволила в исследование вопроса распознавания образов ввести количественные методы. Другими словами, представить процесс распознавания образов (по сути - природное явление) математическими методами.**

**Отметим, что в процессе жизнедеятельности человека число принимаемых им решений конечно, но, в то же время, количество определяющих факторов может быть бесконечным. В качестве простого примера приведем следующий. На улице может идти дождь: проливной, моросящий, другими словами, различной силы, однако человек может принять лишь два решения - брать ему зонт или нет.**

**Количество возможных решений зависит от жизненного опыта. Поэтому автоматизация ряда процессов предполагает под собой конструирование автоматических устройств, способных реагировать на множество изменяющихся характеристик внешней среды каким-то определенным количеством удовлетворительных для человека реакций. Это означает реализацию главных особенностей принципов распознавания, заложенных природой, обеспечение реагирования на совокупность изменений.**

**Создание устройств, выполняющих функции распознавания различных объектов, в большинстве случаев обеспечивает возможность замены человека специализированным автоматом. Благодаря этому, значительно расширяются возможности сложных систем, выполняющих различные информационные, логические, аналитические задачи. Следует отметить, что качество работ, выполняемых человеком на рабочем месте, зависит от многих факторов (квалификации, опыта, добросовестности и т. д.). В то же время исправный автомат действует однообразно и обеспечивает всегда одинаковое качество. Автоматический контроль сложных систем позволяет вести мониторинг и обеспечивать своевременное обслуживание, идентификацию помех и автоматическое применение соответствующих методов шумоподавления, позволяет повысить качество передачи информации. Также понятно, что использование автоматических систем в ряде задач может обеспечить невозможное для человека быстродействие.**

**Подытожив вышеописанное, отметим основные причины замены человеческого участия в задачах распознавания:
- освобождение человека от однообразных операций для решения других более важных задач;
- повышение качества и скорости принимаемых решений.**

**В течение достаточно продолжительного времени проблема распознавания привлекает внимание специалистов в области прикладной математики, а затем и информатики. Так, в частности, на сайте**[**http://www2.cs.kspu.ru**](http://www2.cs.kspu.ru/)**отмечают работы Р. Фишера, выполненные в 20-х годах и приведшие к формированию дискриминантного анализа как одного из разделов теории и практики распознавания. В 40-х годах А. Н. Колмогоровым и А. Я. Хинчиным поставлена задача о разделении смеси двух распределений.**

**В 50-60-е годы ХХ века на основе массы работ появилась теория статистических решений. В результате этого появления найдены алгоритмы, обеспечивающие отнесение нового объекта к одному из заданных классов, что явилось началом планомерного научного поиска и практических разработок. В рамках кибернетики начало формироваться новое научное направление, связанное с разработкой теоретических основ и практической реализации устройств, а затем и систем, предназначенных для распознавания объектов, явлений, процессов. Новая научная дисциплина получила название "Распознавание образов".**

**Таким образом, базой для решения задач отнесения объектов к тому или иному классу послужили, как это отмечается сегодня, результаты классической теории статистических решений. В ее рамках строились алгоритмы, обеспечивающие на основе экспериментальных измерений параметров (признаков), характеризующих этот объект, а также некоторых априорных данных, описывающих классы, определение конкретного класса, к которому может быть отнесен распознаваемый объект.**

**В последующем математический аппарат теории распознавания расширился за счет применения:
- разделов прикладной математики; теории информации;
- методов алгебры логики;
- математического программирования и системотехники.**

**И к середине 70-х годов определился облик распознавания как самостоятельного научного направления, появилась возможность создания нормальной математической теории распознавания.**

**Определения**

**Прежде, чем приступить к основным методам распознавания образов, приведем несколько необходимых определений.
Распознавание образов (объектов, сигналов, ситуаций, явлений или процессов) - задача идентификации объекта или определения каких-либо его свойств по его изображению (оптическое распознавание) или аудиозаписи (акустическое распознавание) и другим характеристикам.**

**Одним из базовых является не имеющее конкретной формулировки понятие множества. В компьютере множество представляется набором неповторяющихся однотипных элементов. Слово "неповторяющихся" означает, что какой-то элемент в множестве либо есть, либо его там нет. Универсальное множество включает все возможные для решаемой задачи элементы, пустое не содержит ни одного.**

**Образ - классификационная группировка в системе классификации, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку. Образы обладают характерным свойством, проявляющимся в том, что ознакомление с конечным числом явлений из одного и того же множества дает возможность узнавать сколь угодно большое число его представителей. Образы обладают характерными объективными свойствами в том смысле, что разные люди, обучающиеся на различном материале наблюдений, большей частью одинаково и независимо друг от друга классифицируют одни и те же объекты. В классической постановке задачи распознавания универсальное множество разбивается на части-образы. Каждое отображение какого-либо объекта на воспринимающие органы распознающей системы, независимо от его положения относительно этих органов, принято называть изображением объекта, а множества таких изображений, объединенные какими-либо общими свойствами, представляют собой образы (более подробно можно ознакомиться на сайте**[**http://www.codenet.ru**](http://www.codenet.ru/)**).**

**Методика отнесения элемента к какому-либо образу называется решающим правилом. Еще одно важное понятие - метрика, способ определения расстояния между элементами универсального множества. Чем меньше это расстояние, тем более похожими являются объекты (символы, звуки и др.) - то, что мы распознаем. Обычно элементы задаются в виде набора чисел, а метрика - в виде функции. От выбора представления образов и реализации метрики зависит эффективность программы, один алгоритм распознавания с разными метриками будет ошибаться с разной частотой.**

**Обучением обычно называют процесс выработки в некоторой системе той или иной реакции на группы внешних идентичных сигналов путем многократного воздействия на систему внешней корректировки. Такую внешнюю корректировку в обучении принято называть "поощрениями" и "наказаниями". Механизм генерации этой корректировки практически полностью определяет алгоритм обучения. Самообучение отличается от обучения тем, что здесь дополнительная информация о верности реакции системе не сообщается.**

**Адаптация - это процесс изменения параметров и структуры системы, а возможно - и управляющих воздействий, на основе текущей информации с целью достижения определенного состояния системы при начальной неопределенности и изменяющихся условиях работы.**

**Обучение - это процесс, в результате которого система постепенно приобретает способность отвечать нужными реакциями на определенные совокупности внешних воздействий, а адаптация - это подстройка параметров и структуры системы с целью достижения требуемого качества управления в условиях непрерывных изменений внешних условий.**

**Примеры задач распознавания образов:
- Распознавание букв;
- Распознавание штрих-кодов;
- Распознавание автомобильных номеров;
- Распознавание лиц и других биометрических данных;
- Распознавание речи.**

**Методы распознавания образов**

**В целом, можно выделить три метода распознавания образов:
Метод перебора. В этом случае производится сравнение с базой данных, где для каждого вида объектов представлены всевозможные модификации отображения. Например, для оптического распознавания образов можно применить метод перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями, деформациями и т. д. Для букв нужно перебирать шрифт, свойства шрифта и т. д. В случае распознавания звуковых образов, соответственно, происходит сравнение с некоторыми известными шаблонами (например, слово, произнесенное несколькими людьми).**

**Второй подход - производится более глубокий анализ характеристик образа. В случае оптического распознавания это может быть определение различных геометрических характеристик. Звуковой образец в этом случае подвергается частотному, амплитудному анализу и т. д.**

**Следующий метод - использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Этот метод требует либо большого количества примеров задачи распознавания при обучении, либо специальной структуры нейронной сети, учитывающей специфику данной задачи. Тем не менее, его отличает более высокая эффективность и производительность. Подробно нейронные сети мы рассматривали в "КИ" N 15, 16, 17 за 2005 г.**

**Общая характеристика задач распознавания образов и их типы**

**Общая структура системы распознавания и этапы в процессе ее разработки показаны на рис. 1.**

****

***(Рис. 1. Структура системы распознавания)***

**Задачи распознавания имеют следующие характерные черты.**

**Это информационные задачи, состоящие из двух этапов:
- преобразование исходных данных к виду, удобному для распознавания;
- собственно распознавание (указание принадлежности объекта определенному классу).**

**В этих задачах можно вводить понятие аналогии или подобия объектов и формулировать правила, на основании которых объект зачисляется в один и тот же класс или в разные классы.
В этих задачах можно оперировать набором прецедентов-примеров, классификация которых известна и которые в виде формализованных описаний могут быть предъявлены алгоритму распознавания для настройки на задачу в процессе обучения.**

**Для этих задач трудно строить формальные теории и применять классические математические методы (часто недоступна информация для точной математической модели или выигрыш от использования модели и математических методов несоизмерим с затратами).**

**Выделяют следующие типы задач распознавания:
- Задача распознавания - отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (обучение с учителем);
- Задача автоматической классификации - разбиение множества объектов, ситуаций, явлений по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, самообучение);
- Задача выбора информативного набора признаков при распознавании;
- Задача приведения исходных данных к виду, удобному для распознавания;
- Динамическое распознавание и динамическая классификация - задачи 1 и 2 для динамических объектов;
- Задача прогнозирования - суть предыдущий тип, в котором решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.**

**Лекция 4:**

**Распознавание изображений**

**Аннотация:**В лекции рассматриваются характеристики задач распознавания образов и их типы, основы теории анализа и распознавания изображений (признаковый метод), распознавание по методу аналогий. Среди множества интересных задач по распознаванию рассмотрены принципы и подход к распознаванию в задачах машинного чтения печатных и рукописных текстов.

**Ключевые слова:**[распознавание](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword1), [признаковый метод распознавания](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword2), [признак](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword3), [значение](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword4), [объект](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword6), [система распознавания](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword7),[характеристика задачи распознавания](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword8), [распознавание образов](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword10), [типы задач](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword20), [обучение без учителя](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword23), [разбиение множества](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword24), [таксономия](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1" \l "keyword25),[кластерный анализ](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword26), [разбиение](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword31), [множества](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword34), [таблица обучения](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword35), [распознавание изображений](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword36), [порог](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword45), [алгоритм](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword49), [таблица](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#keyword59), [алфавит](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1" \l "keyword65),[распознавание по методу аналогий](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword69), [знание](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword70), [вес](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword72), [программа](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword77), [распознавание машинописных и рукописных текстов](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword86), [управляющая система](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword90), [принцип целостности](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword92), [сегментация](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword94), [список](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=2#keyword106)

Современные роботы, снабженные телевизионными камерами, способны достаточно хорошо видеть, чтобы работать с реальным миром. Они могут делать заключения о том, какого типа объекты присутствуют, в каких они находятся отношениях между собой, какие группы образуют, какой текст содержат и т. д. Однако сложные задачи распознавания, например, *распознавание* похожих трехмерных быстродвижущихся объектов или неразборчивого рукописного текста требуют совершенствования методов и средств для своего решения. В этой лекции мы рассмотрим основы некоторых традиционных методов распознавания. Наше рассмотрение мы начнем с наиболее часто применяемого *признакового метода распознавания* [[ 1.4 ]](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/literature#literature.1.4), [[ 4.1 ]](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/literature#literature.4.1).

**Общая характеристика задач распознавания образов и их типы.**

Под образом понимается структурированное описание изучаемого объекта или явления, представленное вектором *признаков*, каждый элемент которого представляет числовое *значение* одного из *признаков*, характеризующих соответствующий *объект*. Общая структура*системы распознавания* и этапы в процессе ее разработки показаны на [рис. 4.1](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#image.4.1).



**Рис. 4.1.**Структура системы распознавания

*Суть задачи распознавания* - установить, обладают ли изучаемые объекты фиксированным конечным набором *признаков*, позволяющим отнести их к определенному классу.

Задачи *распознавания* имеют следующие *характерные черты*.

1. Это *информационные задачи*, состоящие из двух этапов: а) приведение исходных данных к виду, удобному для *распознавания* ; б) собственно *распознавание* (указание принадлежности объекта определенному классу).
2. В этих задачах можно *вводить понятие аналогии или подобия объектов и формулировать понятие близости объектов* в качестве основания для зачисления объектов в один и тот же класс или разные классы.
3. В этих задачах можно *оперировать набором прецедентов-примеров*, классификация которых известна и которые в виде формализованных описаний могут быть предъявлены алгоритму *распознавания* для настройки на задачу в процессе обучения.
4. Для этих задач *трудно строить формальные теории и применять классические математические методы* (часто недоступна информация для точной математической модели или выигрыш от использования модели и математических методов не соизмерим с затратами).
5. В этих задачах *возможна "плохая" информация* (информация с пропусками, разнородная, косвенная, нечеткая, неоднозначная, вероятностная).

Целесообразно выделить следующие *типы задач* *распознавания*.

1. Задача *распознавания* - отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (*обучение с учителем*).
2. Задача автоматической классификации - *разбиение множества* объектов (ситуаций) по их описаниям на систему непересекающихся классов (*таксономия*, *кластерный анализ*, обучение без учителя).
3. Задача выбора информативного набора *признаков* при *распознавании*.
4. Задача приведения исходных данных к виду, удобному для *распознавания*.
5. Динамическое *распознавание* и динамическая классификация - задачи 1 и 2 для динамических объектов.
6. Задача прогнозирования - это задачи 5, в которых решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.

**Основы теории анализа и распознавания изображений.**

Пусть дано множество M объектов ; на этом множестве существует *разбиение* на конечное число подмножеств (классов)  i = {1,m},  Объекты  задаются значениями некоторых *признаков* xj, j= {1,N}. Описание объекта  называют стандартным, если  принимает *значение* из *множества*допустимых значений.

Пусть задана *таблица обучения* ([таблица 4.1](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#table.4.1)). Задача *распознавания* состоит в том, чтобы для заданного объекта  и набора классов, ...,  по обучающей информации в *таблице обучения*  о классах и описанию  вычислить предикаты:



где i= {1,m},  - неизвестно.

|  |
| --- |
| Таблица 4.1. *Таблица обучения* |
| **Объект** | ***Признаки* и их значения** | **Класс** |
| **x1** | **xj** | **xn** |
| _{\omega 1} | \alpha _{11} | \alpha _{1j} | \alpha _{1n} | \Omega _{1} |
| ... |
| \omega _{r_1} | r11 | \alpha _{r_1j} | \alpha _{r_1n} |
| ... |
| \omega _{r_k} | \alpha _{r_k 1} | \alpha _{r_k j} | \alpha _{r_k n} | \Omega _{m} |
| ... |
| \omega _{r_m} | \alpha _{r_m 1} | \alpha _{r_m j} | \alpha _{r_m n} |

Рассмотрим алгоритмы *распознавания*, основанные на вычислении оценок. В их основе лежит принцип прецедентности (в аналогичных ситуациях следует действовать аналогично).

Пусть задан полный набор *признаков* x1, ..., xN. Выделим систему подмножеств *множества* *признаков* S1, ..., Sk. Удалим произвольный набор *признаков* из строк , , ...,  и обозначим полученные строки через , , ..., , .

Правило близости, позволяющее оценить похожесть строк  и  состоит в следующем. Пусть "усеченные" строки содержатq первых символов, то есть  и  Заданы *пороги* ... ,  Строки  и  считаются похожими, если выполняется не менее чем  неравенств вида



Величины ... ,  входят в качестве параметров в модель класса алгоритмов на основе оценок.

Пусть  - оценка объекта  по классу .

Описания объектов , предъявленные для *распознавания*, переводятся в числовую матрицу оценок. Решение о том, к какому классу отнести *объект*, выносится на основе вычисления степени сходства *распознавания* объекта (строки) со строками, принадлежность которых к заданным классам известна.

Проиллюстрируем описанный *алгоритм* *распознавания* на примере. Задано 10 классов объектов ([рис. 4.2а](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#image.4.2)). Требуется определить*признаки* *таблицы обучения*, *пороги* и построить оценки близости для классов объектов, показанных на [рис. 4.2б](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#image.4.2). Предлагаются следующие *признаки* *таблицы обучения*:

x1 - количество вертикальных линий минимального размера;

x2 - количество горизонтальных линий;

x3 - количество наклонных линий;

x4 - количество горизонтальных линий снизу объекта.



**Рис. 4.2.**Пример задачи по распознаванию

На [рис. 4.3](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#image.4.3) приведена *таблица обучения* и *пороги*



Из этой таблицы видно, что неразличимость символов 6 и 9 привела к необходимости ввода еще одного *признака* x4.



**Рис. 4.3.**Таблица обучения для задачи по распознаванию

Теперь может быть построена *таблица* *распознавания* для объектов на [рис. 4.2б](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/lecture/1374?page=1#image.4.2).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Объект** | **x1** | **x2** | **x3** | **x4** | **Результат*****распознавания*** |
| Объект 1 | 1 | 2 | 1 |  | Цифра 2 |
| Объект 2 | 3 | 3 | 0 | 1 | Цифра 8 или 5 |
| Объект 3 | 4 | 1 | 0 |  |  |
| Объект 4 | 4 | 2 | 0 | 1 |  |

Читателю предлагается самостоятельно ответить на вопрос: что будет, если увеличить *пороги* , , , ,  Как изменится качество *распознавания* в данной задаче?

Заключая данный раздел лекции, отметим важную мысль, высказанную А. Шамисом в работе [[ 4.2 ]](http://www.intuit.ru/studies/courses/46/46/literature#literature.4.2): качество *распознавания* во многом зависит от того, насколько удачно создан *алфавит* *признаков*, придуманный разработчиками *системы*. Поэтому *признаки*должны быть инвариантны к ориентации, размеру и вариациям формы объектов.

**еория распознава́ния о́браза** — раздел [информатики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и смежных дисциплин, развивающий основы и методы [классификации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8) и[идентификации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%28%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B%29) [предметов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BC%D0%B5%D1%82), [явлений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), [процессов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81_%28%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29), [сигналов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB), [ситуаций](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) и т. п. [объектов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), которые характеризуются конечным набором некоторых [свойств](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) и признаков. Такие задачи решаются довольно часто, например, при переходе или проезде улицы по сигналам светофора. Распознавание цвета загоревшейся лампы светофора и знание правил дорожного движения позволяет принять правильное решение о том, можно или нельзя переходить улицу.

Необходимость в таком распознавании возникает в самых разных областях — от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов.

Проблема распознавания образа приобрела выдающееся значение в условиях информационных перегрузок, когда человек не справляется с линейно-последовательным пониманием поступающих к нему сообщений, в результате чего его мозг переключается на режим одновременности восприятия и мышления, которому такое распознавание свойственно.

Неслучайно, таким образом, проблема распознавания образа оказалась в поле междисциплинарных исследований - в том числе в связи с работой по созданию[искусственного интеллекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82), а создание технических систем *распознавания образа* привлекает к себе всё большее внимание.

Направления в распознавании образов[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=1) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=1)]

Можно выделить два основных направления[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_note-1):

* Изучение способностей к распознаванию, которыми обладают живые существа, объяснение и моделирование их;
* Развитие теории и методов построения устройств, предназначенных для решения отдельных задач в прикладных целях.

Формальная постановка задачи[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=2) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=2)]

Распознавание образов — это отнесение исходных данных к определенному классу с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти данные, из общей массы несущественных данных.

При постановке задач распознавания стараются пользоваться математическим языком, стремясь - в отличие от теории [искусственных нейронных сетей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C), где основой является получение результата путем эксперимента, - заменить эксперимент логическими рассуждениями и математическими доказательствами[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_note-2).

Классическая постановка задачи распознавания образов [[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_note-3): Дано множество объектов. Относительно них необходимо провести классификацию. Множество представлено подмножествами, которые называются классами. Заданы: информация о классах, описание всего множества и описание информации об объекте, принадлежность которого к определенному классу неизвестна. Требуется по имеющейся информации о классах и описании объекта установить - к какому классу относится этот объект.

Наиболее часто в задачах распознавания образов рассматриваются [монохромные изображения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), что дает возможность рассматривать изображение как функцию на плоскости. Если рассмотреть точечное множество на плоскости , где функция  выражает в каждой точке изображения его характеристику — яркость, прозрачность, оптическую плотность, то такая функция есть формальная запись изображения.

Множество же всех возможных функций  на плоскости  — есть модель множества всех изображений . Вводя понятие *сходства* между образами можно поставить задачу распознавания. Конкретный вид такой постановки сильно зависит от последующих этапов при распознавании в соответствии с тем или иным подходом.

Некоторые методы распознавания графических образов[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=3) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=3)]

Для оптического распознавания образов можно применить метод перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями и т. д. Для букв нужно перебирать шрифт, свойства шрифта и т. д.

Второй подход — найти контур объекта и исследовать его свойства (связность, наличие углов и т. д.)

Ещё один подход — использовать [искусственные нейронные сети](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C). Этот метод требует либо большого количества примеров задачи распознавания (с правильными ответами), либо специальной структуры нейронной сети, учитывающей специфику данной задачи.

[Персептрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) как метод распознавания образов[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=4) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=4)]

Ф. Розенблатт, вводя понятие о [модели мозга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B3%D0%B0), задача которой состоит в том, чтобы показать, как в некоторой физической системе, структура и функциональные свойства которой известны, могут возникать психологические явления, описал простейшие эксперименты по различению. Данные эксперименты целиком относятся к методам распознавания образов, но отличаются тем, что алгоритм решения не детерминированный.

Простейший эксперимент, на основе которого можно получить психологически значимую информацию о некоторой системе, сводится к тому, что модели предъявляются два различных стимула и требуется, чтобы она реагировала на них различным образом. Целью такого эксперимента может быть исследование возможности их спонтанного различения системой при отсутствии вмешательства со стороны экспериментатора, или, наоборот, изучение принудительного различения, при котором экспериментатор стремится обучить систему проводить требуемую классификацию.

В опыте с обучением персептрону обычно предъявляется некоторая последовательность образов, в которую входят представители каждого из классов, подлежащих различению. В соответствии с некоторым правилом модификации [памяти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C) правильный выбор реакции подкрепляется. Затем персептрону предъявляется контрольный стимул и определяется вероятность получения правильной реакции для стимулов данного класса. В зависимости от того, совпадает или не совпадает выбранный контрольный стимул с одним из образов, которые использовались в обучающей последовательности, получают различные результаты:

1. Если контрольный стимул не совпадает ни с одним из обучающих стимулов, то эксперимент связан не только с *чистым различением*, но включает в себя и элементы *обобщения*.
2. Если контрольный стимул возбуждает некоторый набор сенсорных элементов, совершенно отличных от тех элементов, которые активизировались при воздействии ранее предъявленных стимулов того же класса, то эксперимент является исследованием [*чистого обобщения*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B9).

Персептроны не обладают способностью к чистому обобщению, но они вполне удовлетворительно функционируют в экспериментах по различению, особенно если контрольный стимул достаточно близко совпадает с одним из образов, относительно которых персептрон уже накопил определенный опыт.

Примеры задач распознавания образов[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=5) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=5)]

* [Оптическое распознавание символов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2)
* Распознавание [штрих-кодов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%85-%D0%BA%D0%BE%D0%B4)
* Распознавание [автомобильных номеров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0)
* [Распознавание лиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BB%D0%B8%D1%86)
* [Распознавание речи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B8)
* [Распознавание изображений](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9&action=edit&redlink=1)
* Распознавание локальных участков земной коры, в которых находятся месторождения [полезных ископаемых](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B5)
* [Классификация документов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2)

См. также[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=6) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=6)]

* [Размерность Вапника — Червоненкиса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%92%D0%B0%D0%BF%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%E2%80%94_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%B0)
* [Дискриминантный анализ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7)

Примечания[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=7) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=7)]

1. [**↑**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_ref-1) Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов, М. 1978
2. [**↑**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_ref-2) Файн В. С. Опознавание изображений, М. 1970
3. [**↑**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2#cite_ref-3) Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1978, вып. 33. – С. 5-68.

Литература[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&veaction=edit&vesection=8) | [править вики-текст](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2&action=edit&section=8)]

* *Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания. — 4-е изд. — М.: Высшая школа, 1984, 2004. — 262 с.
* [*Вапник В. Н.*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BF%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2C_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87)*, [Червоненкис А. Я.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D1%81%2C_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B9_%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87%22%20%5Co%20%22%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D1%81%2C%20%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B9%20%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87)* Теория распознавания образов. — М.: Наука, 1974. — 416 с.
* *Васильев В. И.* Распознающие системы. Справочник. — 2-е изд. — К.: Наукова думка, 1983. — 424 с.
* *Джордж Стокман, Линда Шапиро.* Компьютерное зрение = Computer Vision. — М.: [Бином. Лаборатория знаний](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%91%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BC._%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9&action=edit&redlink=1), 2006. — 752 с. — [ISBN 5-947-74384-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F%3A%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3/5947743841).
* [*Фомин Я. А.*](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BD,_%D0%AF%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B0%D0%B2_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87&action=edit&redlink=1) Распознавание образов: теория и применения. — 2-е изд. — М.: ФАЗИС, 2012. — 429 с. — [ISBN 978-5-7036-0130-4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F%3A%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3/9785703601304).
* [*Фомин Я. А.*](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BD,_%D0%AF%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B0%D0%B2_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87&action=edit&redlink=1)*, [Тарловский Г. Р.](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9,_%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B9_%D0%A0%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87&action=edit&redlink=1" \o "Тарловский, Геннадий Рудольфович (страница отсутствует))* Статистическая теория распознавания образов. — М.: Радио и связь, 1986. — 624 с.
* *Форсайт Дэвид А., Понс Джин.* Компьютерное зрение. Современный подход = Computer Vision: A Modern Approach. — М.: [Вильямс](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%92%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%8F%D0%BC%D1%81_(%D0%B8%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE)&action=edit&redlink=1), 2004. — 928 с. — [ISBN 0-13-085198-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F%3A%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3/0130851981).
* *Чэн Ш.-К.* Принципы проектирования систем визуальной информации. — М.: Мир, 1994. — 408 с.
* *Л. Шапиро, Дж. Стокман* Компьютерное зрение = Computer Vision. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с. — [ISBN 5-94774-384-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F%3A%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3/5947743841).