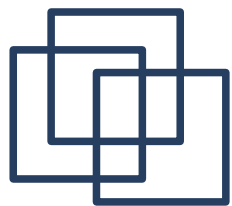


Распознавание образов

Обзорная лекция

- Общее представление о распознавании
- Типы задач в распознавании
- Классификация методов распознавания
- Распознавание скорописных текстов

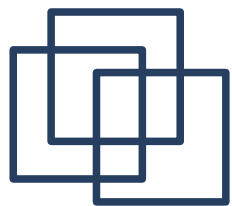
Зеленцов И.А., 2008г.



Общее представление о распознавании

Естественное распознавание

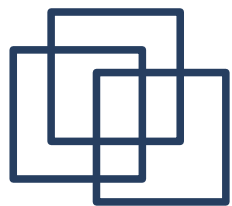
- Распознавание — способность живых организмов обнаруживать в потоке информации, поступающей от органов чувств, определённые объекты, закономерности, явления;
 - Живые организмы выполняют распознавание эффективно и подсознательно;
 - Распознавание осуществляется на основе информации, поступающей от всех органов чувств.
-



Общее представление о распознавании

Обобщённое понятие

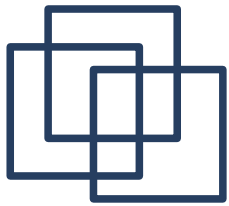
- Возможность распознавания опирается на схожесть однотипных объектов;
 - Классификация — разбиение всего множества объектов на непересекающиеся подмножества — классы, элементы которых имеют некоторые схожие свойства, отличающие их от элементов других классов;
 - Обобщённое понятие распознавания — обнаружении объектов в потоке не только чувственной, но и любой другой информации;
 - Пример: распознавание болезни по её симптомам у больного или распознавание социальных явлений по статистической информации.
-



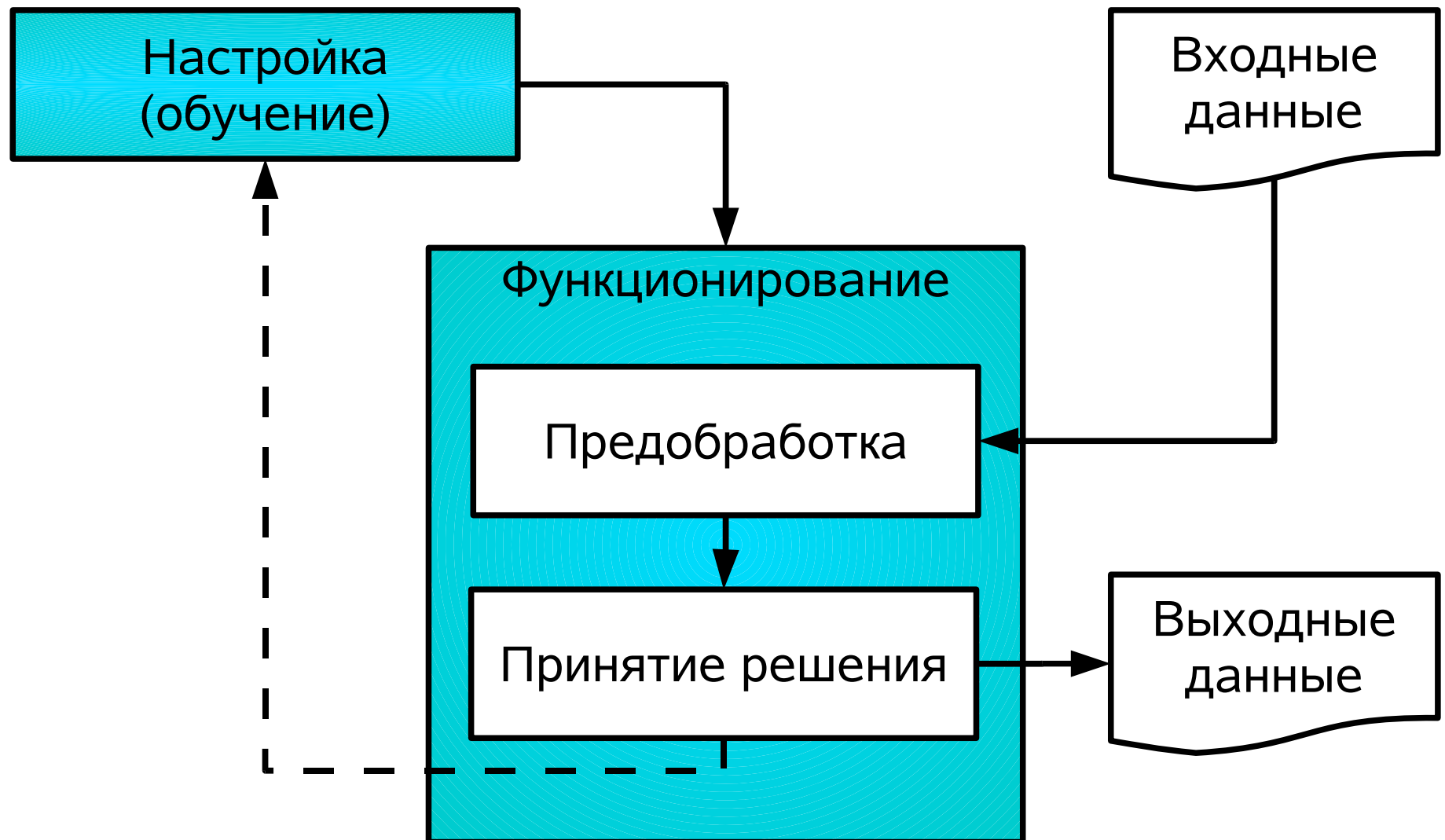
Общее представление о распознавании

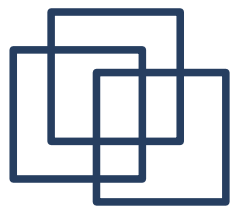
Машинное распознавание

- Разработка методов машинного распознавания позволяет:
 - Расширить круг выполняемых компьютерами задач;
 - Сделать машинную переработку информации более интеллектуальной.
 - Примеры сфер применения машинного распознавания:
 - Распознавание текста;
 - Машинное зрение;
 - Распознавание речи;
 - Распознавание отпечатков пальцев.
 - Современные системы не решают задачу распознавания так же эффективно и в столь же общем виде, как это делают живые организмы
-



Типичная схема работы системы распознавания





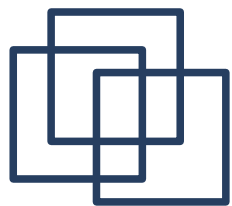
Типы задач фазы функционирования

Этап предобработки

1. Создание **формализованного описания** объектов распознавания, пригодного для использования алгоритмами собственно распознавания.

Этап принятия решения

1. **Распознавание** (обучение с учителем) — отнесение предъявляемых объектов к определённым классам с помощью применения известных правил классификации.
 2. **Классификация** (обучение без учителя) — разбиение множества объектов на непересекающиеся классы по их формализованным описаниям.
-



Задача распознавания

Математическая постановка

- Исходные данные:

- M – множество объектов ω ;
- $I(\omega) = (x_1(\omega), x_2(\omega), \dots, x_N(\omega))$ – описание объекта ω ;
- $M = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i$ – разбиение множества M на классы, определяемое априорной информацией I_0 .

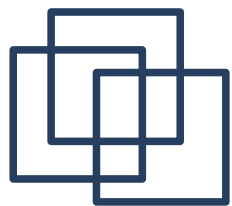
- Постановка задачи:

- для каждого данного объекта ω вычислить значения предикатов
$$P_i = (\omega \in \Omega_i), \quad i = 1, \dots, m$$
- для описания невозможности распознавания объектов предикаты заменяются величинами

$$\alpha_i \in \{0(\omega \notin \Omega_i), 1(\omega \in \Omega_i), \Delta(\text{неизвестно})\}$$

- таким образом, для рассматриваемого объекта ω необходимо вычислить его информационный вектор

$$\alpha(\omega) = (\alpha_1(\omega), \dots, \alpha_m(\omega))$$

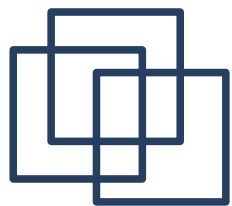


Задача распознавания

Способы определения классов объектов

- Перечисление

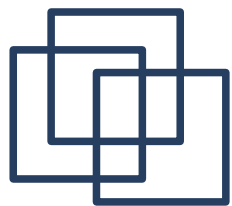
- Каждый класс задаётся путём прямого указания его членов;
 - Используется, если доступна полная априорная информация о всех возможных объектах распознавания;
 - Предъявляемые системе образы сравниваются с заданными описаниями представителей классов и относятся к тому классу, которому принадлежат наиболее сходные с ними образцы – метод *сравнения с эталоном*;
 - Применим, к примеру, при распознавании машинопечатных символов определённого шрифта;
 - Недостаток – слабая устойчивость к шумам и искажениям в распознаваемых образах.
-



Задача распознавания

Способы определения классов объектов

- **Задание общих свойств:**
 - Класс задаётся указанием некоторых признаков, присущих всем его членам;
 - В его первичном описании распознаваемого объекта выделяются значения определённого набора признаков, которые затем сравниваются с заданными признаками классов - *сопоставление по признакам*.
 - Такой метод экономичнее метода сравнения с эталоном в вопросе количества памяти, необходимой для хранения описаний классов.
 - Допускает некоторую вариативность распознаваемых образов.
 - Недостаток – сложность определения полного набора признаков, точно отличающих членов одного класса от членов всех остальных.
-

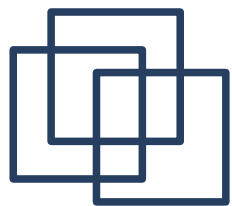


Задача распознавания

Способы определения классов объектов

- Кластеризация:

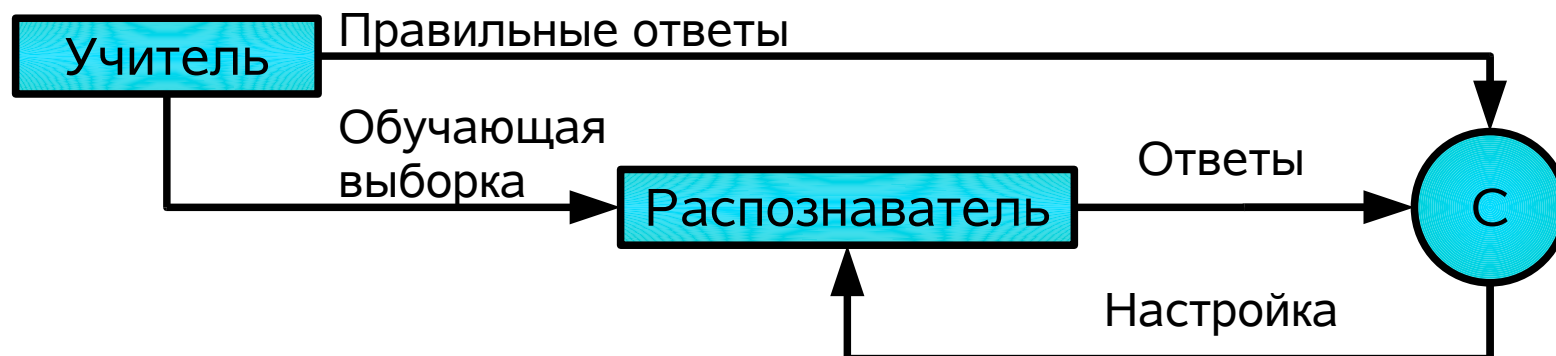
- В случае, когда объекты описываются векторами признаков или измерений, класс можно рассматривать как кластер.
 - Распознавание осуществляется на основе расчёта расстояния описания объекта до каждого из имеющихся кластеров.
 - Если кластеры достаточно разнесены в пространстве, при распознавании хорошо работает метод оценки расстояний от рассматриваемого объекта до каждого из кластеров.
 - Сложность распознавания возрастает, если кластеры перекрываются.
 - Для задания исходных кластеров целесообразно использовать процедуру обучения.
-

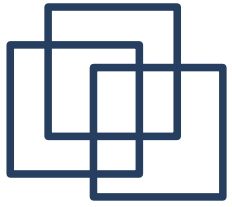


Задача распознавания

Обучение с учителем

- Обучение системы является альтернативой ручному вводу в систему описаний классов объектов и параметров решающей функции.
- Представляет собой процедуру самонастройки системы распознавания на основе воспринимаемой информации и может происходить как при подготовке системы, так и в процессе её работы по мере «накопления опыта».
- **Обучением с учителем** называется вид обучения, в котором системе представляется набор образцов распознаваемых объектов с указанием их принадлежности классам.
- Набор образцовых объектов называется *обучающей выборкой*.





Задача распознавания

Обучающая выборка

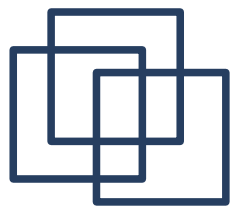
- Обучающая выборка является фрагментом априорной информацией о множестве распознаваемых объектов и представляет описание всех классов объектов:

$$T = I_0(\Omega_1, \dots, \Omega_m)$$

- Её составляют описания предложенных учителем объектов с указанием их принадлежности классам

$$(I(\omega_1), \dots, I(\omega_{r_1}), I(\omega_{r_1+1}), \dots, I(\omega_{r_2}), \dots, I(\omega_{r_m}))$$

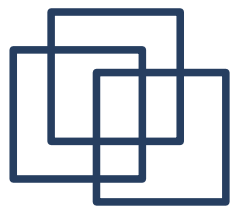
где объекты $\omega_1, \dots, \omega_{r_1}$ принадлежат классу Ω_1 , объекты $\omega_{r_1+1}, \dots, \omega_{r_2}$ - классу Ω_2 и т.д.



Задача распознавания

Обучающая выборка

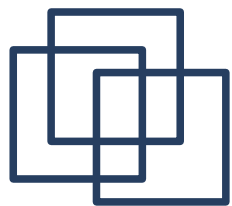
	x_1	x_2	...	x_N	Классы
ω_1	$x_1(\omega_1)$	$x_2(\omega_1)$	...	$x_N(\omega_1)$	Ω_1
ω_2	$x_1(\omega_2)$	$x_2(\omega_2)$	...	$x_N(\omega_2)$	
...	...	...	...	...	
ω_{r_1}	$x_1(\omega_{r_1})$	$x_2(\omega_{r_1})$	...	$x_N(\omega_{r_1})$	
...	...	...	...	...	...
$\omega_{r_{m-1}+1}$	$x_1(\omega_{r_{m-1}+1})$	$x_2(\omega_{r_{m-1}+1})$	...	$x_N(\omega_{r_{m-1}+1})$	Ω_m
...	...	...	...	...	
ω_{r_m}	$x_1(\omega_{r_m})$	$x_2(\omega_{r_m})$	...	$x_N(\omega_{r_m})$	



Задача распознавания

Примеры систем

- OCR;
 - распознавание отпечатков пальцев;
 - машинное зрение робототехнических систем;
 - распознавание речи;
 - биомедицинские приложения: анализ и автоматическая обработка рентгенограмм, электрокардиограмм, исследования хромосом, диагностика заболеваний, интерпретация опросников;
 - контроль и мониторинг технических систем.
-



Задача классификации

Математическая постановка

- Исходные данные:

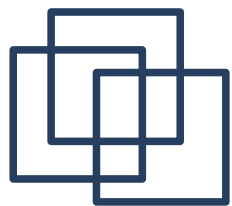
- M – множество объектов ω ;
- $I(\omega) = (x_1(\omega), x_2(\omega), \dots, x_N(\omega))$ – описание объекта ω ;
- $K(I(\omega))$ – критерий, позволяющий отличать объекты друг от друга в соответствии с определённым условием. Например – целое число, определяющее положение объекта в некоторой ранговой системе.

- Постановка задачи:

- построить разбиение множества M на классы Ω_i : $M = \bigcup_{i=0}^m \Omega_i$
- действие критерия в этом случае определяется следующим выражением:

$$\forall i, j (i, j = 1, \dots, m) \quad i \neq j \Leftrightarrow K(I(\omega \in \Omega_i)) \neq K(I(\omega \in \Omega_j))$$

- Замечание: число классов m изначально неизвестно и определяется по результатам выполнения классификации.
-

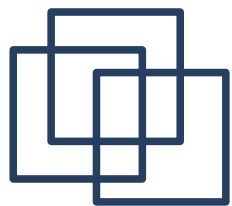


Задача классификации

Способы определения критериев различия

• В задачах классификации для задания правил различия объектов могут быть использованы те же методы, что и при описании классов в задаче распознавания:

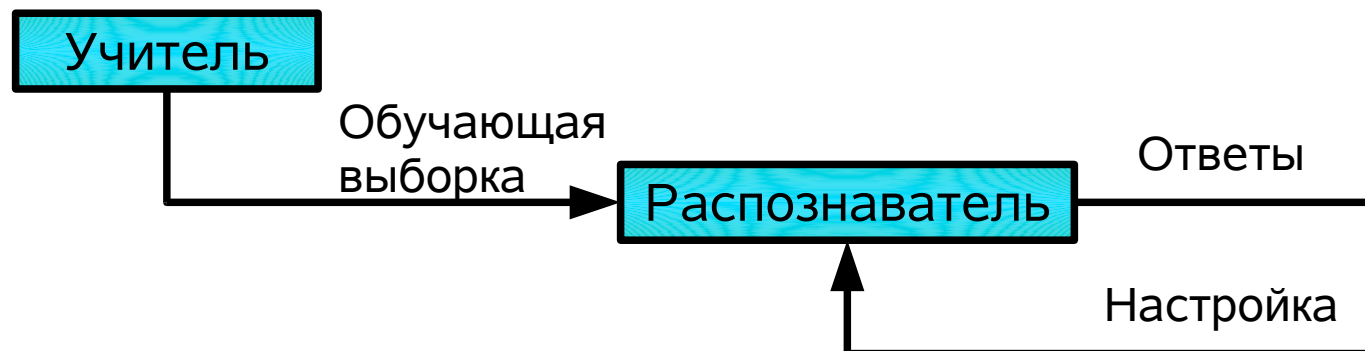
- *Прямое перечисление* можно задать примеры заведомо различающихся объектов. Решение об отнесении поступающих объектов к тому или иному классу принимается на основе меры сходства с эталонами. Решающая функция строится на основе анализа эталонных объектов и априорной информации об их принадлежности разным классам.
 - *Описание общих свойств* позволяет сформировать правило классификации на основе анализа характеристик входного объекта.
 - *Кластеризация* позволяет различать входные объекты на основе анализа характерных свойств разнесённых в пространстве кластеров.
-

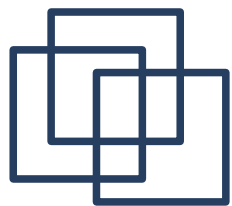


Задача классификации

Обучение без учителя

- При обучении системы классификации от неё требуется не запоминание конкретных классов объектов, а получение правил определения отношения объектов к тому или иному классу.
- *Обучением без учителя* называется вид обучения, в котором системе представляется выборка объектов без подсказки правильных ответов.
- Во время обучения без учителя система строит кластеры объектов обучающей выборки, а на этапе функционирования производит определение близости входных образов к построенным кластерам.
- Целью обучения является настройка параметров системы таким образом, чтобы классы были максимально удалены в пространстве ответов.

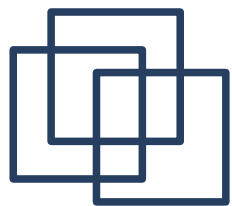




Задача классификации

Назначение систем

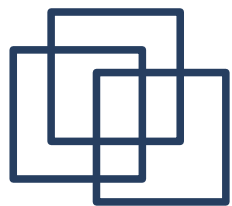
- кластеризация множества объектов;
- понижение размерности описаний для упрощения дальнейшего анализа.



Литература

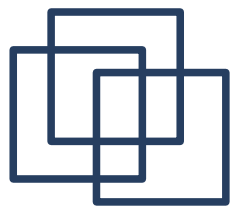


- Ту Дж, Гонсалес Р.. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978.
- Журавлёв Ю.И. Распознавание. Классификация. Прогноз. Математические методы и их применение. Вып.2. М.: Наука, 1989.



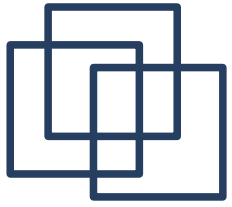
Классификация методов распознавания

- По процедуре предъявления обучающих выборок:
 - ***фиксированная выборка*** – построение правил классификации по единственному обучающему множеству, предъявляемому до начала классификации;
 - ***последовательная выборка*** – коррекция правила классификации с каждой новой предъявляемой выборкой на основе оценки критерия качества распознавания (самообучение, автоподстройка).
-



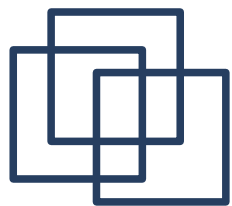
Процедура предъявления Фиксированная выборка

- Правило классификации строится на основе обучающей выборки, представленной системе до начала выполнения ей функции распознавания;
 - Во время работы это правило не меняется;
 - Системы, построенные на этом принципе, используются в основном там, где множество распознаваемых объектов хорошо известно, вариативность объектов предсказуема или хорошо отрабатывается правилами классификации;
 - В целом, такие системы более простые и эффективные.
-



Процедура предъявления Последовательная выборка

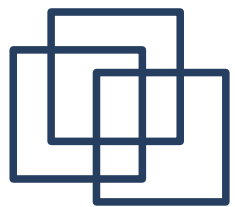
- Первоначальная выборка формирует предварительную версию правил классификации;
 - При последующей работе система подстраивает правила классификации или вырабатывает новые с целью повышения качества распознавания.
 - Системы с последовательной процедурой обучения проявляют б`ольшую гибкость при распознавании объектов с высокой степенью варьировемости.
 - Алгоритм работы таких систем более сложен и требует обоснования с точки зрения свойств процедуры обучения.
-



Процедура предъявления

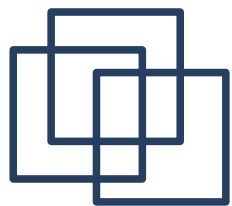
Свойства процедуры последовательного обучения

- **сходимость** — процесс изменения правил классификации должен приводить через конечное число корректировок к окончательному варианту;
 - **оптимальность** — решающее правило, к которому сходится процесс обучения, должно быть оптимальным в смысле минимизации функции стоимости возможных ошибок;
 - **вычислительная сложность** — финальное правило классификации должно минимизировать число шагов, необходимых для распознавания образа, время их выполнения.
-



Классификация методов распознавания

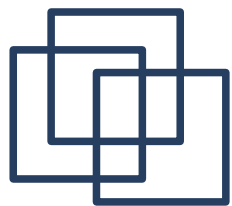
- По виду правил классификации:
 - *параллельные* — проведение ряда тестов над всей совокупностью выявленных данных об объекте и принятие решения на основе их результатов;
 - *последовательные* — проведение последовательности тестов над подмножествами выявленных данных; выбор очередного теста определяется результатами предыдущих тестов.
-



Виды правил классификации

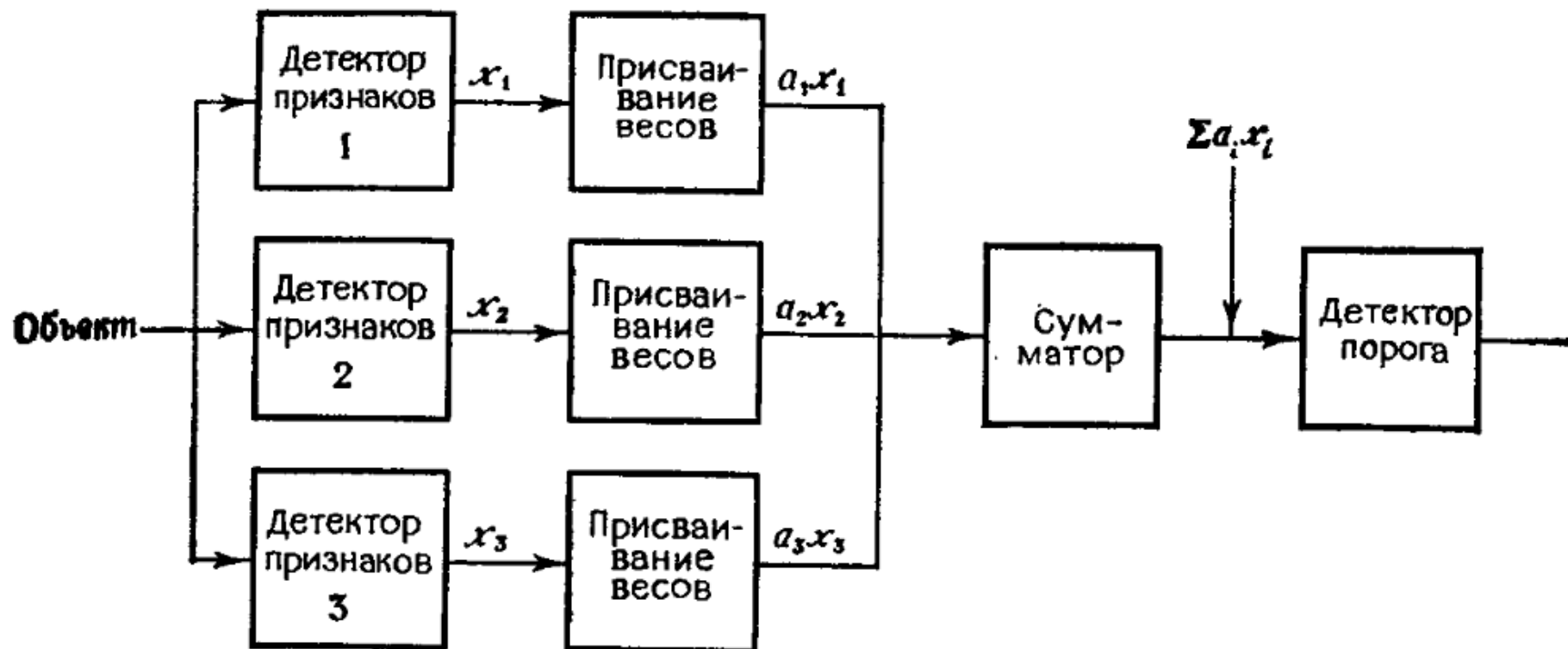
Параллельная классификация

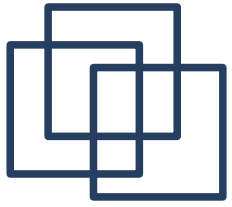
- Для выполнения распознавания система производит ряд тестов над всеми компонентами x_i , $i=1, \dots, N$ описания входного объекта одновременно.
 - Решающая функция представляется функцией не более, чем N переменных $g(x_1, \dots, x_N)$.
 - Система может быть организована в виде множества параллельных функций $F = \{f_j(x_1, \dots, x_N)\}$, $j=1, \dots, m$, каждая из которых производит оценку принадлежности объекта к соответствующему ей классу. В таком случае решающая функция принимает решение на основе максимального полученного значения - $g = \max_j (f_j)$
 - Параллельная процедура является достаточно надёжной и требует для распознавания постоянного времени, равного времени выполнения самой продолжительной из процедур распознавания.
 - Не обладает гибкостью, свойственной последовательным процедурам.
-



Виды правил классификации

Параллельная классификация

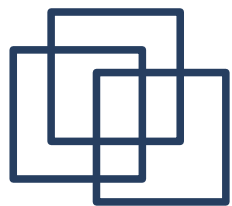




Виды правил классификации

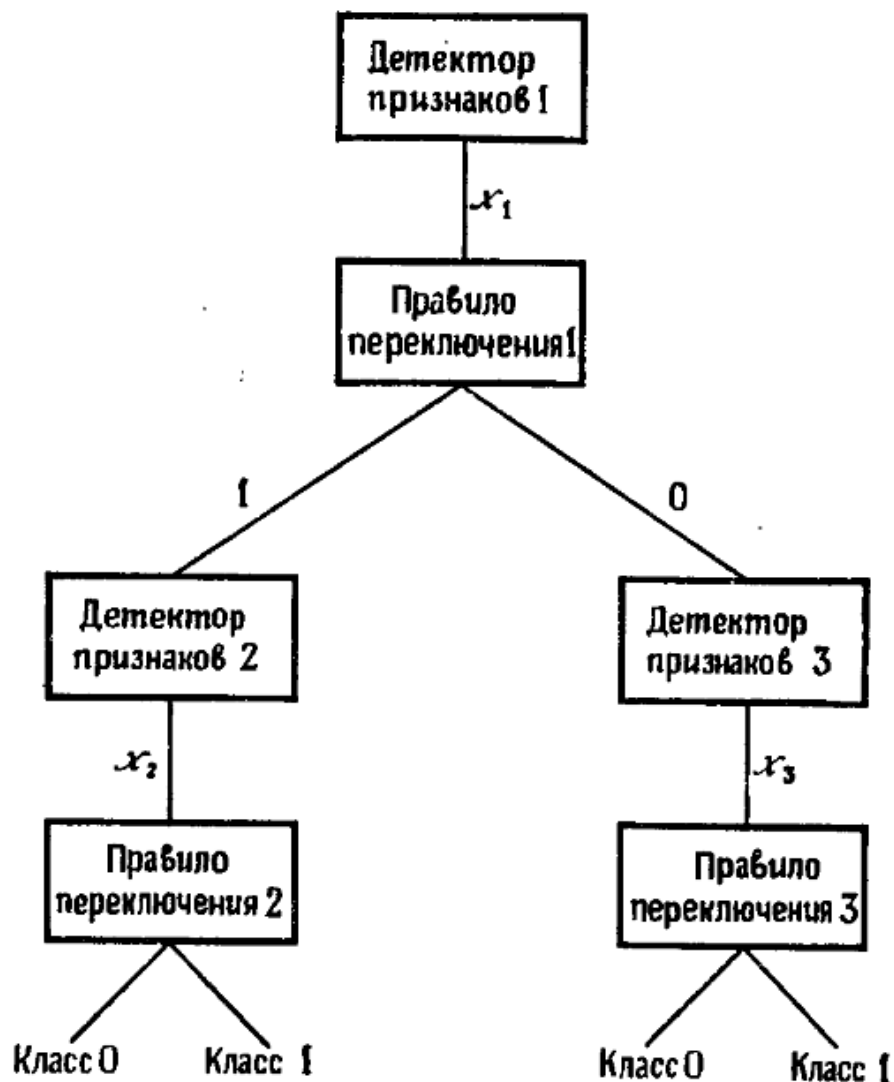
Последовательная классификация

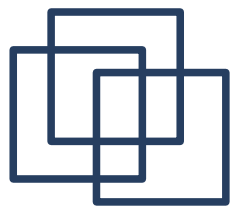
- Последовательный способ классификации предусматривает ряд тестов над признаками распознаваемого объекта., выполняемых последовательно, причём порядок их выполнения может зависеть (и чаще всего зависит) от получаемых результатов.
 - Позволяет реализовать более сложные правила классификации.
 - Позволяет сократить число необходимых для распознавания тестов.
 - Время выполнения в сравнении с параллельной процедурой зависит от выполняющего её вычислительного устройств:
 - Если устройство позволяет производить параллельные вычисления, то последовательная процедура потребует значительно большего времени.
 - Если устройство последовательное, то выполнение последовательной процедуры может осуществляться быстрее, в зависимости от конкретной ситуации.
 - Возможно комбинирование параллельного и последовательного принципов с целью достижения компромисса между простотой параллельных процедур и возможностями последовательных.
-



Виды правил классификации

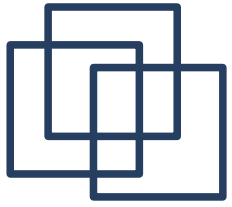
Последовательная классификация





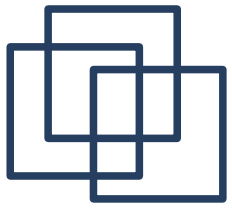
Классификация методов распознавания

- По способу описания объектов:
 - *Евклидово пространство* — объекты представляются точками в евклидовом пространстве их вычисленных параметров, представление в виде набора измерений;
 - *списки признаков* — выявление качественных характеристик объекта и построение характеризующего вектора;
 - *структурное описание* — выявление структурных элементов объекта и определение их взаимосвязи.
-



Способы описания объектов Евклидово пространство

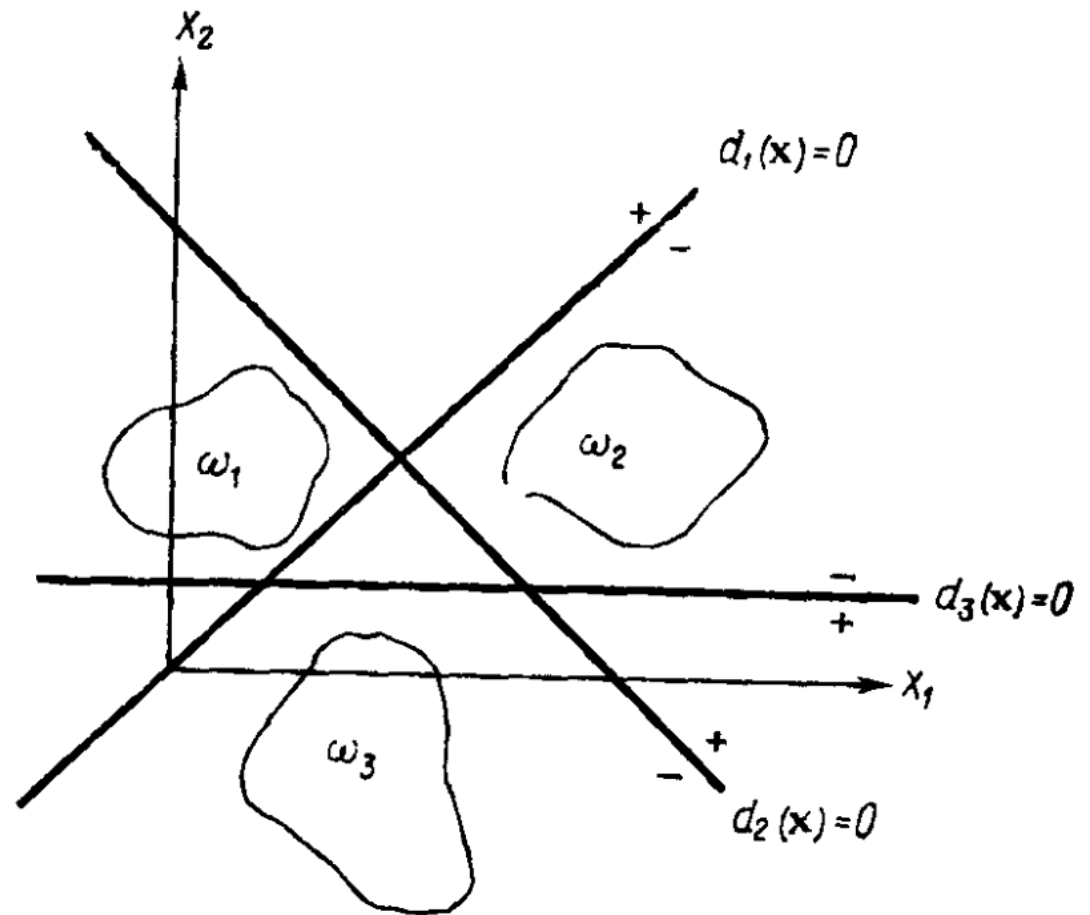
- Над первичным представлением распознаваемого образа производится серия вычислений, определяющих необходимые для классификации характеристики.
 - В многомерном Евклидовом пространстве (параметрическом пространстве, или пространстве характеристик), каждое измерение которого соответствует одной из вычисляемых характеристик, строится точка, соответствующая совокупности полученных измерений.
 - По совокупностям точек, Евклидово расстояние между которыми мало, выделяют в область пространства, соответствующую данному классу изображений.
 - Как правило, методы, работающие с Евклидовым пространством, используют параллельную процедуру подачи входного изображения.
 - К данному классу методов можно также отнести методы, использующие в своей основе нейронные сети. Они способны решать как задачи распознавания, так и автоматической классификации, допуская обучение как с учителем, так и без него.
-

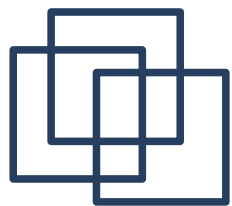


Способы описания объектов Евклидово пространство

Решающие (дискриминантные) функции

- Построение правил классификации заключается в поиске функций, описывающих разделение параметрического пространства на соответствующие классам объектов области. При этом реализуется способ задания классов в виде указания общих свойств принадлежащих им объектов.

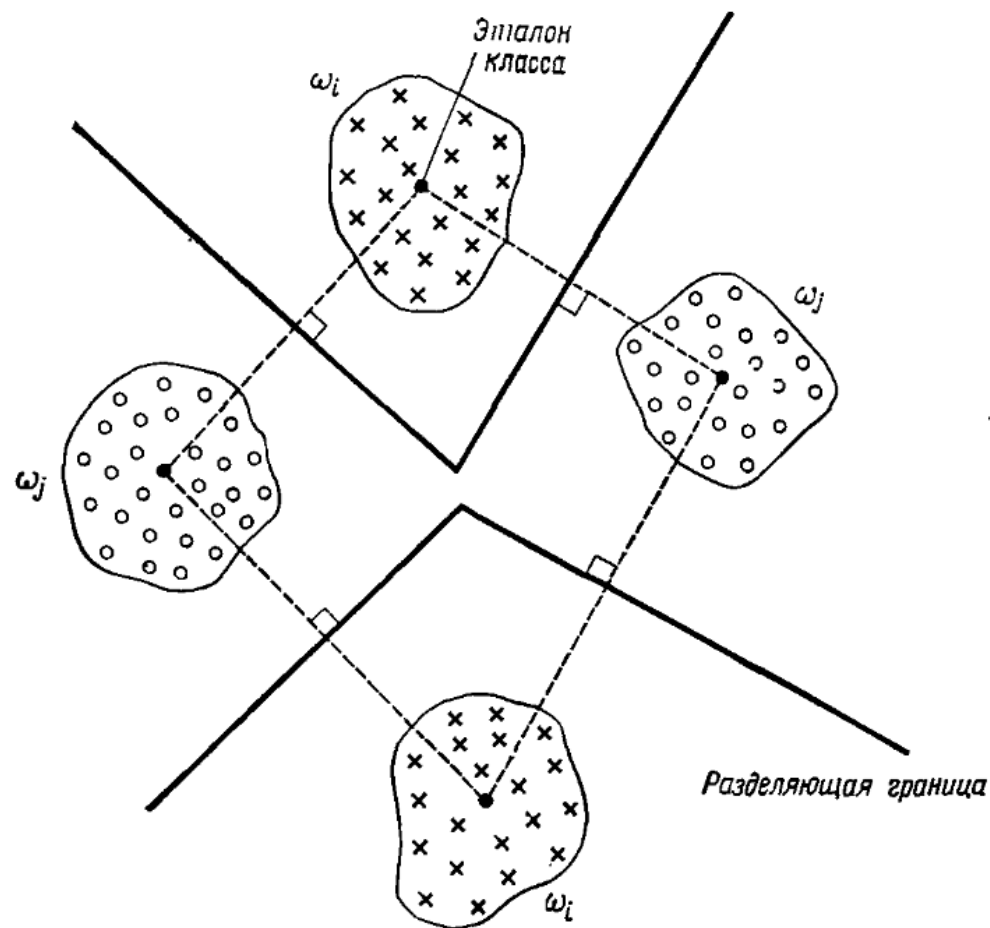


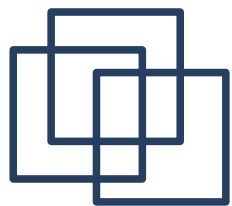


Способы описания объектов Евклидово пространство

Функции расстояния

- Определение принадлежности объектов различным классам производится на основе анализа расстояний между точками объектов одного класса и между точками объектов различных классов. Классы представляются в виде кластеров в параметрическом пространстве. Построение правил классификации заключается в поиске функций, обеспечивающих оптимальное построение кластеров объектов. Данный подход активно использует методы кластерного анализа.

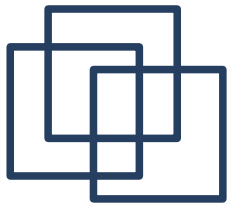




Способы описания объектов Евклидово пространство

Функции правдоподобия

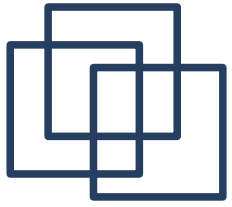
- Используется математическая статистика, Байесовские оценки, теория игр.
 - Процесс распознавания представляется как игра распознающего устройства с реальным миром, в которой при распознавании каждого символа машина пытается угадать символ, задуманный окружающим миром.
 - Построение правила классификации сводится к поиску функций выигрышей и потерь игроков.
 - Принятие решения о классе распознаваемого объекта строится на значении функции правдоподобия предполагаемого решения при заданных значениях параметров объекта.
 - Данный метод применим при наличии достаточного количества априорной информации о распознаваемом множестве.
-



Способы описания объектов

Списки признаков

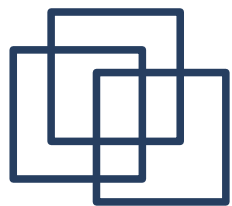
- Методы данной категории опираются на возможность классификации распознаваемых объектов на основе наличия в них некоторых характерных признаков.
- Первый подход: простые измерения, проводимые над изображением, есть результат действия совокупности небольшого числа порождающих признаков;
- Второй подход: признаки есть подмножества множеств простых измерений.
- Методы данного класса являются в большой степени эвристическими. Их эффективность определяется правильностью выбора набора рассматриваемых признаков.
- Пример из работ Кадакина. При распознавании рукописных шифров источников картотеки для каждой строки шифра осуществляется определение значений нескольких признаков. В роли этих признаков выступают количество чёрных точек на средней и нижней линии строки с учётом её возможного наклона, а также число верхних и нижних выступающих элементов букв.



Способы описания объектов

Структурное описание

- Структурное описание основывается на представлении объектов в виде совокупности «непроизводных элементов» и отношений между ними.
 - Под непроизводными элементами понимаются фрагменты распознаваемых образов, которые, с одной стороны, формируют эти образы, с другой — просты в смысле собственной структуры.
 - Как правило системы, использующие структурное описание объектов, реализуют последовательную процедуру распознавания.
 - Процесс распознавания делится на два потока: выделение в образе структурных элементов определенного вида и согласование получаемой структурной информации с имеющимися в системе моделями.
-



Способы описания объектов

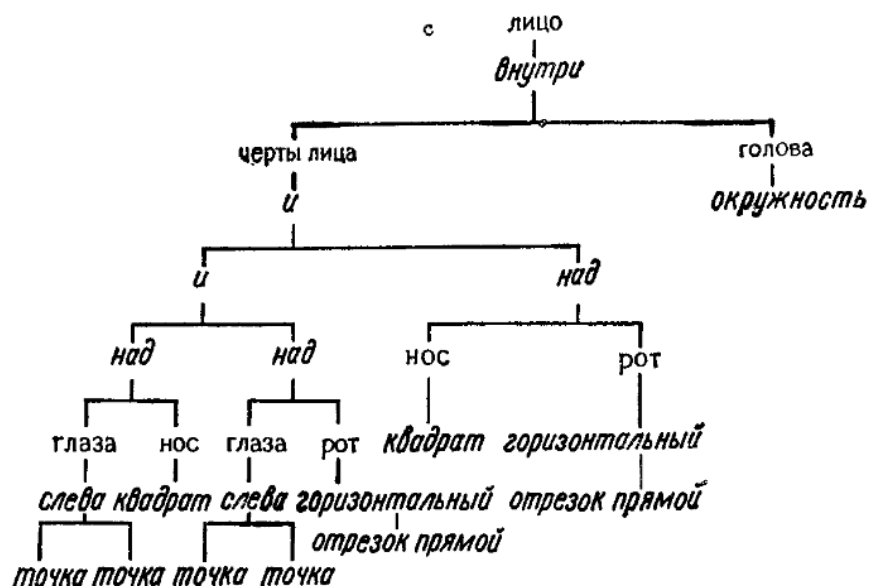
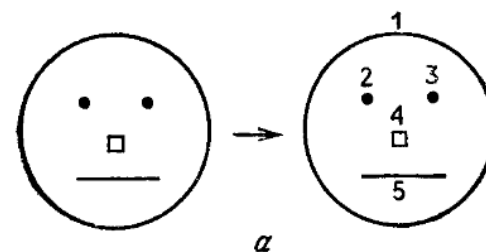
Структурное описание

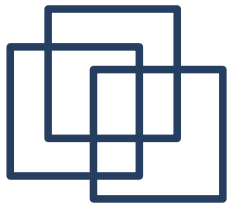
- **Методы грамматического анализа образов**
- Представление образов в виде предложений специального языка.

Построение правила классификации сводится к выводу грамматики, описывающей язык классифицируемых образов.

Распознавание заключается в определении выводимости рассматриваемого предложения с помощью найденной грамматики.

Граматики Эванса используют в качестве терминальных символов простые элементы изображений, такие как круг, прямоугольник, линия. Взаимоотношения элементов описываются операторами ``над'', ``внутри'' и т.д.

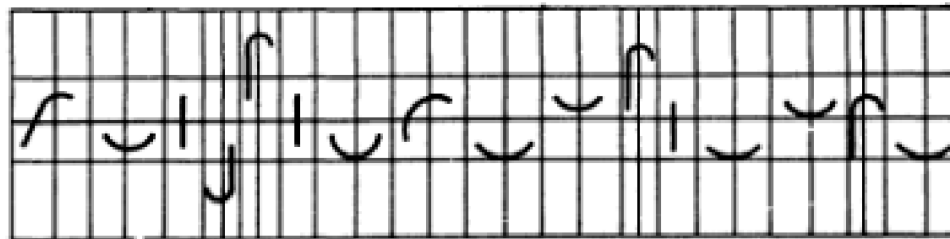
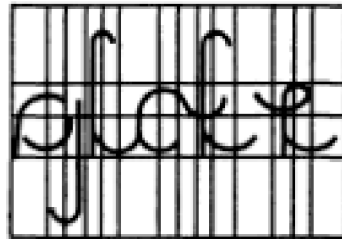




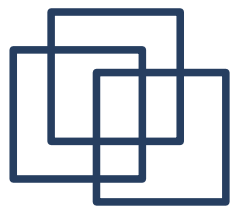
Способы описания объектов

Структурное описание

- Модель английской скорописи Идена. В результате анализа английских скорописных текстов был выявлен ограниченный набор типов линий, с помощью комбинации которых можно изобразить любую скорописную букву.



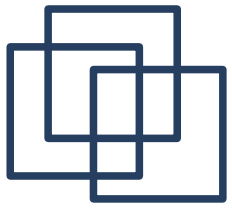
- В качестве структурных элементов изображений могут использоваться траектории движения пишущего или рисующего инструмента.
-



Литература

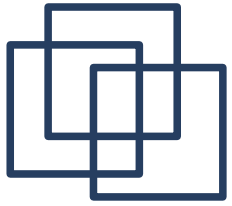


- Хант Э. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1978.
 - Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977
-



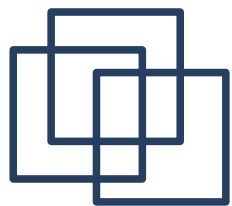
Распознавание скорописных текстов

- В настоящее время существуют системы, осуществляющие распознавание машинопечатных текстов (например, ABBYY FineReader, Cunei Form).
 - Распознавание рукописного текста является более сложной задачей и в достаточно полной мере на сегодняшний день не решена.
 - В применении к распознаванию текста можно говорить о двух принципиально разных подходах:
 - **онлайн-распознавание** — процесс распознавания ведётся параллельно с процессом синтеза изображения;
 - **оффлайн-распознавание** — распознавание производится на уже сформированном изображении.
 - Онлайн-задача является более простой в решении, и сегодня реализовано достаточное количество приложений, осуществляющих онлайн-распознавание рукописного текста.
 - Оффлайн-распознавание рукописи реализовано лишь отчасти, в виде специальных приложений, работающих с формами, заполняемыми от руки.
-



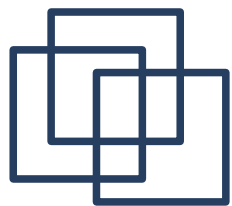
Задача распознавания текста

- На вход подаётся растровое изображение текста.
 - Требуется определить его кодированное электронное представление, т.е. произвести его перевод из растрового графического представления в текстовое.
 - Каждый фрагмент исходного изображения, соответствующий букве, должен быть отнесён к одному из классов букв, набор которых задаётся известным алфавитом.
 - Выходное текстовое представление рукописи должно содержать весь набор букв, представленный в исходном изображении, в соответствующем порядке их следования.
 - Задача распознавания текста является задачей множественного распознавания изображений букв текста.
-

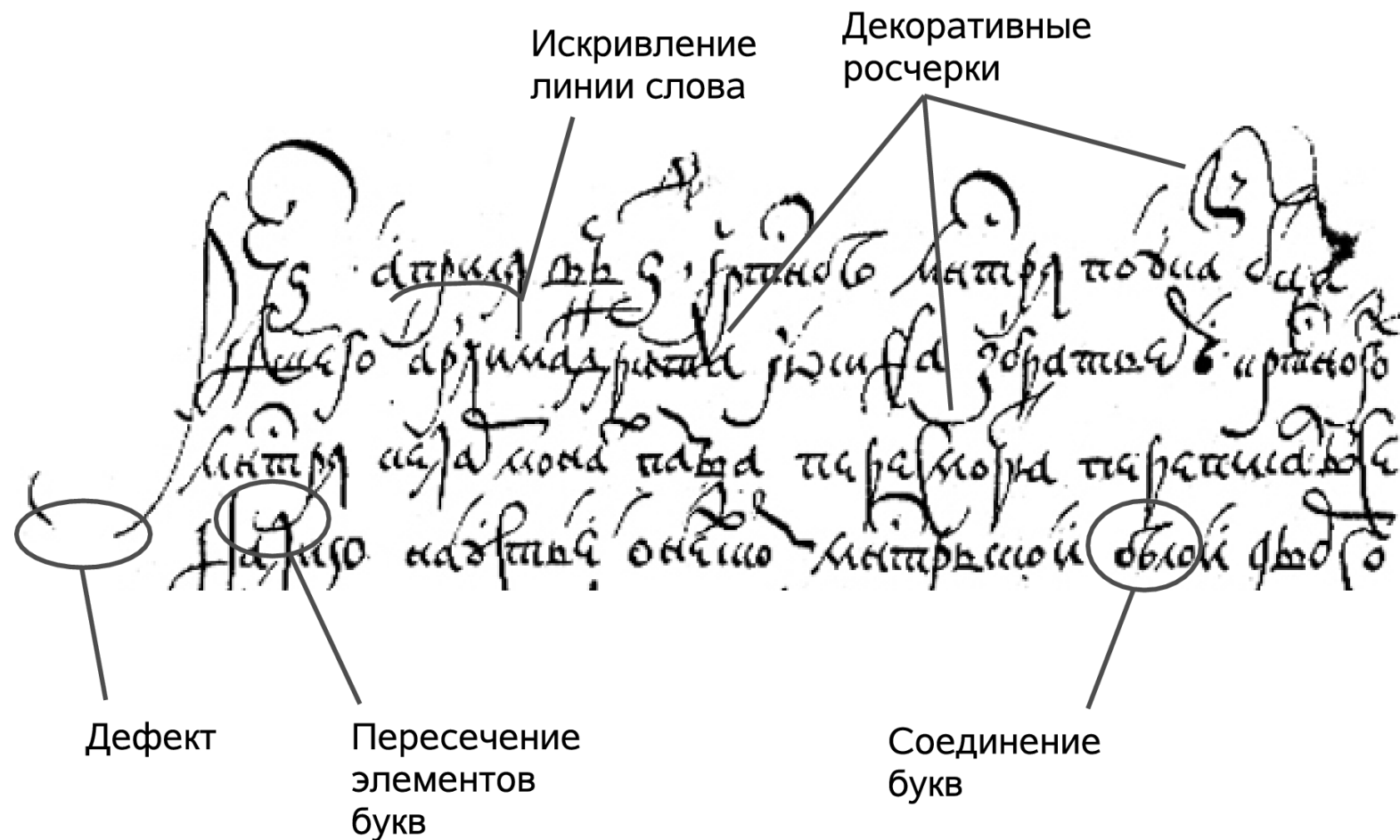


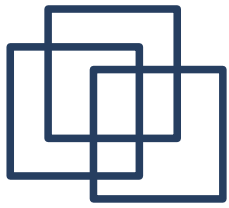
Машинопечатные и скорописные тексты

- В текстах, полученных типографским способом:
 - буквы располагаются в ровных строках, имеют одинаковое начертание в пределах всего документа и, как правило, имеют достаточно четко различимые промежутки между собой.
 - эта информация позволяет использовать допущения, снижающие сложность алгоритмов и методов распознавания.
 - В рукописных текстах, и особенно в скорописных, присутствует множество особенностей, связанных с процессом синтеза текста.
 - Назначением скорописи является быстрое нанесение текста на бумагу.
 - Велика вариативность начертания букв и они часто связываются соединительными линиями, строки не располагаются на ровных горизонталях, могут встречаться помарки и кляксы.
 - Поскольку буквы часто имеют соединительные линии и могут иметь случайные пересечения, задача распознавания расширяется необходимостью выделения отдельных букв в изображении перед их распознаванием.
-



Особенности скорописи





Вариативность начертания СИМВОЛОВ

- элемент выведен не точно, с отклонениями;
- отсутствует предполагаемое пересечение элементов;
- присутствует лишнее пересечение (например, с другой буквой);
- элемент дополнен декоративным сегментом;
- добавлен декоративный элемент;
- добавлен соединительный штрих;
- дефект начертания (пробельный участок);
- изменены относительные размеры и положение элементов.



Различие
начертания



Отсутствует
пересечение



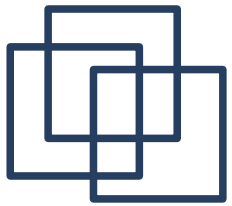
Лишнее
пересечение



Декоративный
элемент

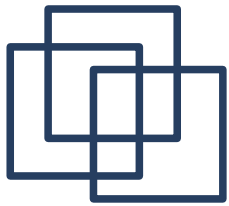


Дефекты



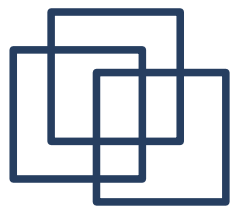
Анализ методов распознавания в применении к скорописным текстам

- Методы параллельного распознавания ограничены необходимостью предварительного выделения символов из исходного изображения. В контексте скорописного текста это обстоятельство является недостатком в связи со связанностью букв между собой. Определить границу между двумя буквами параллельным методом можно только уже распознав сами буквы.
 - Структурные методы позволяют системам распознавания перемещаться по изображению, постепенно и последовательно собирая необходимую информацию.
 - Необходимость в выделении отдельных символов для их распознавания отпадает, так как в процессе анализа полученных на данный момент сведений об изображении распознаватель может выбирать область дальнейшего исследования и самостоятельно определять границы наблюдаемого символа.
-



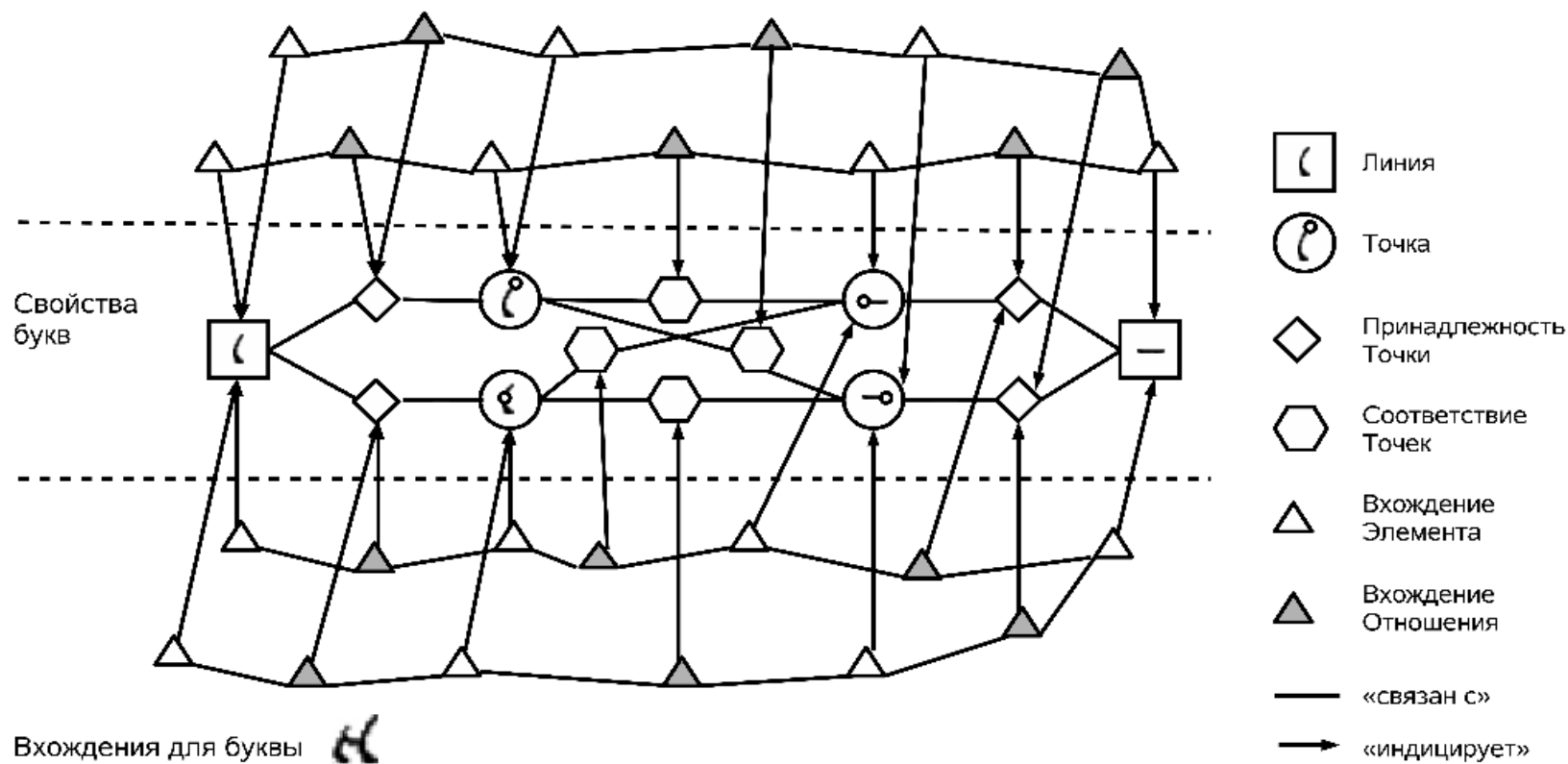
Фреймовые модели

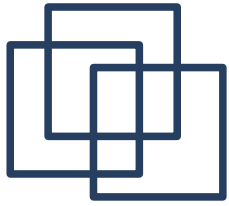
- Информация о структурных элементах изображения и их взаимосвязи представляется в виде фреймов – сетевых структур, узлы которых описывают объекты изображения, а именованные дуги – их взаимоотношения.
 - В процессе распознавания в изображении выделяются структурные элементы и определяются связи между ними.
 - Процесс сегментации изображения управляется процессом проверки выбранного в текущий момент фрейма – гипотезы.
 - Изображение признаётся как описываемое каким-либо фреймом, если удаётся связать его терминальные узлы с наблюдаемыми элементами изображения.
 - Преимущества:
 - распознавание на разных уровнях детализации;
 - возможность разделения несколькими высокоуровневыми объектами общих низкоуровневых элементов;
 - возможность задания для некоторых терминалов фрейма значений по умолчанию, которые могут быть изменены при обнаружении противоречия, или признаются действительными в противном случае.
-



Пример фреймовой модели

Вхождения для буквы π





Список литературы

- Журавлёв Ю.И. Распознавание. Классификация. Прогноз. Математические методы и их применение. Вып.2. М.: Наука, 1989.
 - Мински М. Фреймы для представления знаний. Пер. с англ. 1979.
 - Ту Дж, Гонсалес Р.. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978.
 - Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. Пер. с англ. Ю.А.Зуев, В.А. Точенов, 1992.
 - Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977
 - Хант Э. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1978.
-