Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования   
«Национальный исследовательский университет   
«Московский институт электронной техники»

Факультет микроприборов и технической кибернетики

Кафедра высшей математики №1

Димаков Владислав Сергеевич

Бакалаврская работа   
по направлению 01.03.04 «Прикладная математика»

Обнаружение и слежение за объектами в реальном времени на основе самообучающегося классификатора

Студент Димаков В.С.

Научный руководитель,

доцент, кандидат физико-математических наук Козлитин И.А.

Москва 2017

Оглавление

[Введение 4](#_Toc482050684)

[Актуальность проблемы 4](#_Toc482050685)

[Цели и задачи выпускной квалификационной работы 4](#_Toc482050686)

[Глава 1. Обнаружение и сопровождение объектов, присутствующих на кадрах видеопоследовательности. 4](#_Toc482050687)

[1.1.Цифровое растровое полутоновое изображение 4](#_Toc482050688)

[Цифровая видеозапись 5](#_Toc482050689)

[1.Виды алгоритмов обнаружения и сопровождения (кратко) : пороговые, корреляционные, вычитание фона и др. 5](#_Toc482050690)

[Вычитание фона 5](#_Toc482050691)

[2. Обнаружение и сопровождение на основе вычитания фона с учетом движения камеры 5](#_Toc482050692)

[Особые точки изображения 5](#_Toc482050693)

[Детектор Харриса 6](#_Toc482050694)

[Вычисление оптического потока методом Лукаса — Канаде 8](#_Toc482050695)

[Смещение кадра 9](#_Toc482050696)

[Модель фона 9](#_Toc482050697)

[Бинарное изображение подвижных объектов 11](#_Toc482050698)

[Сегментация изображения 13](#_Toc482050699)

[Глава 2. Классификация и распознавание объектов 13](#_Toc482050700)

[2.1 Постановка задачи классификации 13](#_Toc482050701)

[2.2 Обзор существующих методов решения задачи классификации 13](#_Toc482050702)

[2.2.1 Байесовский классификатор 13](#_Toc482050703)

[2.2.3 Деревья и леса решений 14](#_Toc482050704)

[2.3. Случайные леса. 14](#_Toc482050705)

[2.3.1. Деревья решений. 14](#_Toc482050706)

[2.3.2. Мера загрязненности вершины. 15](#_Toc482050707)

[2.3.3. Оптимальное расщепление вершин. 16](#_Toc482050708)

[2.3.4. Ансамбль деревьев решений. 17](#_Toc482050709)

[2.3.5. Алгоритм построения случайного леса. 18](#_Toc482050710)

[2.3.5. Оценка ошибочной классификации. 18](#_Toc482050711)

[2.4. Обучение случайного леса в режиме реального времени. 19](#_Toc482050712)

[2.4.1. On-line баггинг. 19](#_Toc482050713)

[2.4.2. Построение деревьев решений в on-line режиме. 20](#_Toc482050714)

[2.4.3. Адаптивное исключение деревьев из ансамбля. 21](#_Toc482050715)

[2.4.4. Алгоритм on-line обучения. 23](#_Toc482050716)

[Глава 3. Применение методов распознавания образов к задаче сопровождения 23](#_Toc482050717)

[Интегральное представление изображения 23](#_Toc482050718)

[Признаки Хаара 24](#_Toc482050719)

[Глава 4. Результаты работы программы 25](#_Toc482050720)

[Заключение. Перспективы дальнейшей работы. 25](#_Toc482050721)

# Введение

## Актуальность проблемы

Применение автосопровождения в жизни(видеонаблюдение, военное дело и т.п)

В настоящее время от систем видеонаблюдения требуется не только предоставление возможности воспроизведения и записи видеопотока с камеры, но и возможности решения в автоматическом режиме множество задач без участия человека, начиная от простого детектирования движения в области наблюдения, заканчивая высокоточным подсчётом проехавших машин или прошедших людей.

Большинство задач, решаемых системами видеонаблюдения, направлены на получение различных данных об объектах в области наблюдения, поэтому для сбора и последующей обработки информации наиболее важным вопросом является определение положений требуемых объектов на каждом кадре видеопотока.

## Цели и задачи выпускной квалификационной работы

Целью работы является исследование и анализ эффективности методов обнаружения и слежения за объектами в реальном времени на основе данных получаемых из видеопотока.

# Глава 1. Обнаружение и сопровождение объектов, присутствующих на кадрах видеопоследовательности.

## 1.1.Цифровое растровое полутоновое изображение

Изображение – это визуальное представление чего-либо. Цифровым изображением называется массив данных, полученный путем дискретизации (аналого-цифрового преобразования) оригинала. Существуют три основных способа цифрового представления изображений: растровая графика, векторная графика и фрактальная графика. Растровое изображение – это изображение, представляющее собой двумерную матрицу (также называемую битовой картой), каждый элемент которой характеризует цвет соответствующего пикселя. Пикселем называется наименьший логический элемент цифрового растрового изображения. В любое растровое изображение входит некоторое число пикселей, которые формирую объекты, изображенные на нем, а величина, определяющая количество пикселей изображения на единицу площади называется разрешением. Как и все растровые изображения, полутоновое кодируется в цифровом виде с помощью матрицы, хранящей значения пикселей. Каждый пиксель полутонового изображения может кодироваться различным количеством бит, что определяет количество возможных полутонов, называемых уровнями серого.

В данной работе используются растровые полутоновые изображения с разрешением пикселей и числом бит на пиксель равным .

## Цифровая видеозапись

Цифровая видеозапись – электронная технология записи визуальной информации, представленной в форме цифрового потока видеоданных, получаемого с устройства видеозахвата. Результат такого процесса также называется цифровой видеозаписью и представляет собой видеоряд, то есть последовательность изображений (кадров), идущих друг за другом.

В данной работе цифровая видеозапись будет рассматриваться, как последовательность двумерных матриц растровых полутоновых изображений , где – номер кадра в последовательности.

## 1.Виды алгоритмов обнаружения и сопровождения (кратко) : пороговые, корреляционные, вычитание фона и др.

## Вычитание фона

## 2. Обнаружение и сопровождение на основе вычитания фона с учетом движения камеры

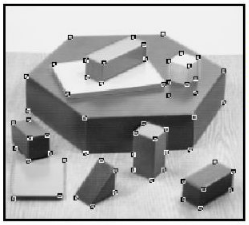
## Особые точки изображения

Для выделения из изображения некоторой интерпретируемой информации необходимо привязаться к локальным особенностям изображения.

Особая точка или точечная особенность изображения – это точка изображения, окрестность которой однозначно отличима от любой другой окрестности точки , где .

Процесс определения особых точек достигается путём использования детектора. Детектор – это метод извлечения особых точек из изображения. Детектор обеспечивает инвариантность нахождения одних и тех же особых точек относительно преобразований изображений.

Угловые особые точки (corners) – это особые точки, находящиеся на пересечении двух или более граней, которые определяют границу между различными объектами или частями одного и того же объекта. Главное свойство таких особых точек заключается в том, что в области вокруг них у градиента изображения преобладают два доминирующих направления, что делает их различимыми. Градиентом называется векторная величина, показывающая направление наискорейшего возрастания функции интенсивности изображения .

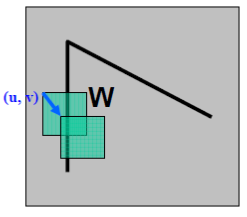
 

## Детектор Харриса

(http://www.bmva.org/bmvc/1988/avc-88-023.pdf)

Детектор Харриса – это метод извлечения особых точек из изображения, основанный на поиске областей, похожих на угол. В нем рассматриваются производные яркости изображения по множеству направлений.

Для изображения рассмотрим окно (обычно его размер равен пикселей) с центром , а также его сдвиг на .



Тогда взвешенная сумма квадратов разностей между сдвинутым и исходным окном, т.е. изменение окрестности точки при сдвиге на равна:

где – весовая функция. Обычно в качестве весовой функции используется двумерный гауссиан. Так как изображение дискретно, то частные производные по оси и определяются через изменения интенсивностей соседних точек изображения. Тогда значение интенсивности сдвинутой точки можно вычислить, используя ряд Тейлора

Тогда величину можно выразить следующим образом

где *M* – автокорреляционная матрица:

Угол характеризуется большими изменениями функции по всем возможным направлениям , что эквивалентно большим по модулю собственным значениям () матрицы *M*. Поскольку напрямую считать собственные значения является трудоёмкой задачей, Харрисом и Стефеном была предложена мера отклика:

где – определитель матрицы , – след матрицы , – эмпирическая константа, ,

После вычисления меры отклика *R* производится отсечение точек по этому порогу. Далее находятся локальные максимумы функции отклика по окрестности заданного радиуса и выбираются в качестве уголковых особых точек.

## Вычисление оптического потока методом Лукаса — Канаде

Оптический поток – это изображение видимого движения, представляющее собой сдвиг каждой точки между двумя изображениями. Суть вычисления оптического потока состоит в том, чтобы для каждой точки изображения найти такой сдвиг так, чтобы исходной точке соответствовала точка на втором изображении . В качестве изображений, между которыми ищется сдвиг каждой точки, будем использовать последовательность кадров цифровой видеозаписи.

Метод Лукаса-Канаде основан на предположении, что значения пикселей переходят из кадра в кадр без изменений. Таким образом, мы делаем допущение, что пиксели, относящиеся к одному и тому же объекту, могут сместиться в какую либо сторону, но их значение останется неизменным, то есть .

Используя сделанное допущение и разложение в ряд Тейлора, получаем следующее равенство

Поскольку между двумя кадрами проходит единичный интервал времени, то

Откуда получаем следующее равенство

Предположим, что соседние пиксели смещаются на одинаковое расстояние. Возьмем фрагмент изображения, пикселей, и условимся, что для каждого из пикселей и равны. Тогда вместо одного уравнения мы получим уравнений. Очевидно, что в общем случае система не имеет решения, поэтому будем искать такие и , которые минимизируют ошибку:

где – весовая функция. Обычно в качестве весовой функции используется двумерный гауссиан.

## Смещение кадра

При инициализации детектора происходит создание выборки , где - координат особых точек на кадре . Используя выборку , соответствующую кадру , формируются выборки и , где , значения смещений точек на кадре относительно кадра вычисляются с помощью метода Лукаса-Канаде. Смещение кадра вычисляется, как медиана выборки . После чего кадр смещается на величину по горизонтали и на по вертикали с помощью параллельного переноса. Так как значения смещений, полученных данным образом, могут иметь дробные части, выполняется субпиксельное смещение с помощью билинейной интерполяции, используя следующую формулу

где – дробные части и ,

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

## Модель фона

Модель фона состоит из двух частей – среднего фонового изображения и изображения среднего абсолютного отклонения .

Среднее фоновое изображение вычисляется путем осреднения последних кадров с учетом их взаимных смещений. При этом обновление среднего фонового изображения новыми кадрами происходит только теми участками, где нет движущихся объектов. Смещение среднего фонового изображения выполняется так, чтобы область видимости на среднем фоновом изображение максимально соответствовала области видимости на текущем кадре.

Пусть – среднее фоновое изображение, сформированное к кадру ; – смещение кадра относительно кадра ; – оператор наложения среднего фонового изображения на кадр с учетом смещения ; – оператор позволяющий получить изображение, представляющее собой кадр без движущихся объектов. Тогда среднее фоновое изображение для кадра вычисляется по следующей формуле:

Изображение среднего абсолютного отклонения является характеристикой средней изменчивости фона и вычисляется путем осреднения последних абсолютных отклонений кадров от фоновых изображений . Изображение среднего абсолютного отклонения так же как и среднее фоновое изображение обновляется только теми участками, где нет движущихся объектов, и смещается вслед за областью видимости на текущем кадре.

Пусть – изображение среднего абсолютного отклонения, сформированное к кадру . Тогда изображение среднего абсолютного отклонения для кадра вычисляется по следующей формуле:

где изображение представляет собой матрицу того же размера, что и , заполненную значениями 255 (т.е. белый цвет).

Оператор возвращает только те участки изображения, для которых на текущем кадре абсолютное отклонение от среднего фонового изображения не превышает значения изображения среднего абсолютного отклонения, умноженного на константу . То есть обновляются только те участки изображения, для которых

## Бинарное изображение подвижных объектов

Бинарное (двоичное) изображение – это изображение, в котором каждый пиксель может представлять только один из двух цветов. Значения каждого пикселя условно кодируются, как «0» и «1». Значение «0» условно называют задним планом или фоном, а «1» - передним планом. Под передним планом в нашем случае будем понимать те пиксели изображения, которые соответствуют подвижным объектам.

Бинарное изображение подвижных объектов на -м кадре вычисляется на основе полученной модели фона следующим образом:

где . Таким образом, бинарное изображение подвижных объектов принимает значение «1» на тех участках, для которых абсолютное отклонение текущего кадра от среднего фонового изображения превышает значение изображения среднего абсолютного отклонения, что характерно для подвижных объектов.

У вышеописанного метода вычисления бинарного изображения подвижных объектов есть один существенный недостаток. Из-за зашумленности исходного изображения некоторые пиксели, принадлежащие фону, имеют большое отклонение от среднего фонового изображения, вследствие чего такие пиксели на бинарном изображении имеют значение «1». Данный недостаток устраняется введением фильтра фоновой части изображения , работающего по следующему принципу:

где – порог фоновой части изображения, вычисляемый следующим образом:

где – гистограмма изображения ;

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\current_frame.jpg  Кадр , полученный с видеокамеры | C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\average_backgroung.jpg  Среднее фоновое изображение |
| C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\deviation_image.jpg  Масштабированное по яркости изображение среднего абсолютного отклонения | C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\current_deviation_image.jpg  Масштабированное по яркости изображение |
| C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\moving_target2.jpg  Бинарное изображение подвижных объектов | C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\moving_target.jpg  Бинарное изображение, полученное с применением фильтра фоновой части изображения |
| C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\hist1.emf | C:\Users\Vlad\Desktop\ВУЗ\4 курс\8 семестр\Диплом\cv2\ВКР\detector\hist2.emf |
| Гистограмма изображения | |

## Сегментация изображения

Найти связные области, объединить те, которые близко лежат, окружить то, что получится, прямоугольниками.

# Глава 2. Классификация и распознавание объектов

## 2.1 Постановка задачи классификации

Вероятностная постановка задачи классификации выглядит следующим образом. Пусть множество пар является вероятностным пространством с неизвестной вероятностной мерой . Имеется конечная обучающая выборка наблюдений , сгенерированная согласно вероятностной мере . Требуется построить алгоритм , способный классифицировать произвольный объект

## 2.2 Обзор существующих методов решения задачи классификации

### 2.2.1 Байесовский классификатор

Байесовские классификаторы представляют собой широкий класс алгоритмов классификации, основанных на принципе максимума апостериорной вероятности.

Для классифицируемого объекта вычисляются функции правдоподобия каждого из классов, по которым вычисляются апостериорные вероятности классов. Объект относится к тому классу, для которого апостериорная вероятность максимальна.

2.2.2 Нейронные сети

2.2.3 Деревья и леса решений

## 2.3. Случайные леса.

Случайный лес – статистический метод, предназначенный для решения задач классификации и регрессии, заключающийся в использовании ансамбля классификаторов, представляющих собой деревья решений. Метод сочетает в себе две основные идеи: метод баггинга и метод случайных подпространств.

### 2.3.1. Деревья решений.

Пусть – конечное непустое множество, – конечное множество, состоящее из поименованных неупорядоченных пар элементов множества . Совокупность множеств и называют неориентированным графом и обозначают . Элементы называют вершинами, а элементы – ребрами. Если – это неупорядоченная пара вершин и , то пишут , причем вершины и называют концами ребра .

Пусть – конечное множество, состоящее из поименованных упорядоченных пар элементов множества . Тогда совокупность множеств и называют ориентированным графом (орграфом) и обозначают . Элементы называют ориентированными ребрами или дугами. Если дуга есть упорядоченная пара вершин и , то пишут , причем вершину называют началом дуги , а вершину ее концом. Число дуг, исходящих из вершины орграфа , называют степенью исхода вершины , а число дуг, заходящих в вершину , называют степенью захода вершины .

Путем длины на графе из вершины в вершину называется последовательность или вершин и ребер графа, в которой . Связным называется граф, между любой парой вершин которого существует как минимум один путь. Циклом называется замкнутый путь ненулевой длины без повторяющихся ребер. Граф без циклов называется ациклическим.

Дерево – связный ациклический граф. Ориентированным деревом называется ациклический связный орграф, в котором только одна вершина имеет нулевую степень захода, а все остальные вершины имеют степень захода 1. Вершина с нулевой степенью захода называется корнем дерева, а вершины с нулевой степенью исхода называются листьями или терминальными вершинами.

Для каждого листа в ориентированном дереве существует единственный путь из корня. Максимальная длина пути из корня в лист называется высотой дерева. Если из вершины ведет дуга в вершину , то называется отцом, а – сыном.

Пусть – множество всех возможных значений векторов признаков , называемое пространством образов. Тогда деревом решений будет называться ориентированное дерево , с каждой вершиной которого связаны:

1. Подмножество ;
2. Подвыборка , такая, что ;
3. Функция (правило) определяющая разбиение множества на непересекающихся подмножеств. Здесь – количество потомков вершины .

Заметим, что с корневой вершиной связывается все пространство образов и вся выборка . С листьями дерева не связываются никакие функции .

Пусть – вершина, являющаяся -м сыном вершины . Тогда множество и функция определяют подмножества следующим образом:

Цель построения дерева решений состоит в классификации векторов из распределения . Процесс принятия решений начинается с корневой вершины и состоит в последовательном применении правил , связанных с вершинами дерева. Результатом этого процесса является определение листа такого, что , при этом вектор относится к классу, являющемуся мажорантным в подвыборке .

### 2.3.2. Мера загрязненности вершины.

Алгоритм построения дерева решений основан на идее рекурсивного разбиения обучающей выборки на две более однородные подвыборки с помощью одного из признаков. Обычно вместо меры однородности используется противоположная по смыслу мера загрязненности.

Пусть – мера загрязненности вершины , – подвыборка, связанная с этой вершиной. Необходимо потребовать, чтобы загрязненность вершины была равна , если содержит прецеденты только одного класса и была максимальной в случае, если содержит одинаковое число прецедентов каждого класса. Одной из наиболее часто используемых является мера загрязненности вершины, формализованная в индексе Gini:

где – доля примеров класса в подвыборке . Другой популярной мерой является мера загрязненности, основанная на понятии энтропии:

Реже применяется мера загрязненности, основанная на частоте ошибочной классификации:

В работе [1] было показано, что выбор меры загрязненности не оказывает существенного влияния на точность классификации, поэтому, в силу простоты реализации, в качестве используемой в данной работе меры загрязненности был выбран индекс Gini.

### 2.3.3. Оптимальное расщепление вершин.

Правило разбиения множества , связанное с каждой вершиной дерева решений, называется расщеплением. Бинарное расщепление вершины можно рассматривать как функцию , где в случае вектор относится к левому сыну, а в случае – к правому.

Расщепление подвыборки необходимо осуществлять таким образом, чтобы максимально уменьшить загрязненность. Уменьшение загрязненности вершины для бинарных деревьев определяется как

где и – доли примеров подвыборки , соответствующие левому и правому сыновьям ( и ). Наилучшим расщеплением вершины считается разбиение, которое максимизирует величину , то есть оптимальное расщепление необходимо выполняться таким образом, чтобы .

Определим величину , используя в качестве меры загрязненности вершины индекс Gini. Пусть – размер подвыборки ; и – размеры подвыборок, соответствующих потомкам и ; и – число экземпляров класса в потомках и . Тогда оптимальным расщеплением вершины будем считать такое расщепление, что

### 2.3.4. Ансамбль деревьев решений.

Ансамбль классификаторов представляет собой множество классификаторов, чьи решения комбинируются некоторым образом для получения окончательной классификации наблюдений. Обычно синтез решений отдельных классификаторов, составляющих ансамбль, осуществляется путем их голосования. Основным достоинством ансамбля классификаторов пред отдельным классификатором является то, что при соблюдении определенных условий, он обладает значительно более высокой точностью, а также устойчив к «зашумлению» обучающей выборки. Необходимым и достаточным условием высокой точности ансамбля классификаторов является то, чтобы составляющие его отдельные классификаторы были достаточно точны и различны, то есть совершали ошибки на различных примерах. Для выполнения этого условия в случайных лесах применяются два метода: манипулирование примерами обучающей выборки и инъекция случайности в индуктивный алгоритм.

Для манипулирования примерами обучающей выборки используется метод, называемый баггингом. Он основан на формировании обучающей выборки для каждого дерева ансамбля с помощью бутстрепа и использовании невзвешенного голосования при агрегировании решений отдельных классификаторов. Бутстрепом называется случайная выборка с возвращением из исходной обучающей выборки, имеющая тот же объем, что и обучающая выборка.

Инъекция случайности в алгоритм построения случайных лесов происходит при построении каждого дерева решений на стадии расщепления вершин, где из всего множества признаков обучающей выборки случайно выбирается только их фиксированное число. Таким образом, на каждой итерации построения деревьев решений фактически используется метод случайных подпространств.

### 2.3.5. Алгоритм построения случайного леса. Алгоритм классификации.

Пусть – обучающая выборка; – число деревьев в ансамбле; – число случайно отбираемых признаков на этапе разделения вершин. Тогда алгоритм построения случайного леса может быть представлен в следующем виде:

Для выполнить:

1. Сформировать бутстреп выборку размера по исходной обучающей выборке ;
2. По бутстреп выборке построить неусеченное дерево решений с минимальным количеством наблюдений в терминальных вершинах равным , рекурсивно следуя следующему подалгоритму:
3. Из исходного набора признаков случайно выбрать признаков;
4. Из признаков выбрать признак, который обеспечивает наилучшее расщепление;
5. Расщепить выборку, соответствующую обрабатываемой вершине, на две подвыборки и построить двух сыновей вершины.

Классификация примера осуществляется следующим образом. Пусть – класс, предсказанный деревом решений для вектора , то есть . Тогда – класс наиболее часто встречающийся во множестве , то есть класс предсказанный случайным лесом для вектора .

### 2.3.5. Оценка вероятности ошибочной классификации.

Одно из достоинств случайных лесов состоит в том, что для оценки вероятности ошибочной классификации нет необходимости использовать кросс-проверку или тестовую выборку. Оценка вероятности ошибочной классификации случайного леса осуществляется методом «Out-Of-Bag» (OOB), состоящем в следующем.

Известно, что каждая бутстреп выборка не содержит примерно 37% примеров исходной обучающей выборки (поскольку выборка с возвращением, то некоторые наблюдения в нее не попадают, а некоторые попадают несколько раз). Будем классифицировать некоторый вектор , используя только те деревья случайного леса, которые строились по бутстреп выборкам, не содержащим . Частота ошибочно классифицированных векторов обучающей выборки при таком способе классификации представляет собой оценку вероятности ошибочной классификации случайного леса методом OOB. Практика применения оценки OOB показала, что в случае, если количество деревьев достаточно велико, то эта оценка обладает высокой точностью.

Обычно оценку вероятности ошибочной классификации, найденную методом OOB, обозначают как OOBE (Out-Of-Bag-Error). Также часто используют оценку OOB для отдельных деревьев ансамбля, обозначая ее . Данная оценка определяется, как частота ошибочной классификации векторов , не входящих в бутстреп выборку, на основе которой строилось дерево . При этом в классификации участвует не весь ансамбль деревьев, а только само дерево .

## 2.4. Обучение случайного леса в режиме реального времени.

Обычно случайные леса обучаются до начала их тестирования, то есть фазы обучения и тестирования разделены. Однако на практике обучающие данные часто не могут быть даны заранее, а поступают последовательно. Например, при решении задачи обнаружения и сопровождения объектов, присутствующих на кадрах видеопоследовательности, необходимо обучать классификатор и получать его прогнозы в режиме реального времени (on-line).

Так как случайный лес представляет собой ансамбль деревья решений, объединённых посредством баггинга, то для реализации on-line обучения случайного леса необходимо осуществлять как баггинг, так и построение самих деревьев решений в on-line режиме.

### 2.4.1. On-line баггинг.

Допустим, что обучающая выборка дана заранее и имеет размер . Тогда для построения каждого дерева случайного леса необходимо создать бутстреп выборку размера . Пусть случайная величина принимает значение 1, если пример попал в выборку на позицию и значение 0 в противоположном случае. Соответствующие вероятности равны:

Тогда – конечная последовательность независимых случайных величин, имеющих одинаковое распределение Бернулли с параметром . Случайная величина , являющаяся числом попаданий примера в выборку , имеет биномиальное распределение с параметрами и , то есть

Вероятность того, что пример попадет выборку ровно раз:

В случае последовательно поступающих данных, мы не можем определить размер обучающей выборки заранее. Будем считать, что , тогда и биномиальное распределение можно аппроксимировать распределением Пуассона с параметром , то есть

Таким образом, при баггинге в on-line режиме, последовательно поступающие данные возможно моделировать при помощи пуассоновского распределения. Для этого необходимо обновлять каждое дерево на каждом примере раз подряд, где – последовательность случайных величин, принимающих неотрицательные целочисленные значения, такая что для всякого выполняется условие

То есть – последовательность распределений асимптотически равных распределению .

### 2.4.2. Построение деревьев решений в on-line режиме.

Главной проблемой при построении дерева решений в on-line режиме является правильность выбора моментов разделения вершин. Правильность этого выбора крайне важна, так как надежность статистики, накапливаемой в последующих вершинах-сыновьях, напрямую зависит от правильности выбора момента разделения вершины-отца.

При on-line обучении статистика в вершине накапливается с течением времени и для обеспечения правильности выбора момента разделения, необходимо соблюдать два условия:

1. Число примеров, прошедших через вершину должно быть достаточным, чтобы в ней находилась надежная статистика;
2. Разделение вершины должно быть произведено так, чтобы достигалась цель верной классификации.

Для соблюдения этих условий введем в алгоритм разделения вершины две пороговых величины и , численные значения которых подбираются экспериментально так, чтобы минимизировать ошибку классификации . Здесь – минимальное число примеров, прошедших через вершину до ее разделения; – минимальное значение уменьшения загрязненности вершины такое, что , где – набор случайно выбранных признаков для вершины .

От дерева, построение которого производится в on-line режиме, также требуется возможность произведения классификации сразу же после разделения вершины, то есть до получения новых данных.

Пусть – вершина, удовлетворяющая условиям разделения с пороговыми величинами и . При прохождении примеров через эту вершину, были накоплены статистики и , представляющие собой статистики меток классов левых и правых возможных сыновей вершины , разделенных по признаку . Тогда при разделении вершины, из всего числа признаков выбирается случайный набор из признаков, после чего из набора выбирается признак , обеспечивающий наилучшее расщепление, и создаются вершины-сыновья и , разделенные по признаку . После этого значения статистик и передаются левому и правому сыновьям соответственно. Таким образом, новые вершины появляются с уже накопленной статистикой, что позволяет производить классификацию без необходимости получения новых данных.

### 2.4.3. Адаптивное исключение деревьев из ансамбля.

Часто при on-line обучении распределение примеров в обучающей выборке меняется на протяжении времени. Следовательно, необходимо иметь механизм, способный «отучивать» случайный лес от старой информации. Этого можно достичь, исключая из ансамбля деревья, неспособные верно классифицировать примеры с изменившимся распределением. Если ансамбль состоит из большого числа деревьев, то исключение из него одного дерева не приносит вреда точности классификации ансамбля в целом. Таким образом, непрерывное исключение деревьев, неспособных классифицировать примеры с изменившимся распределением, гарантирует адаптацию классификатора к изменяющимся условиям на протяжении времени.

Рассмотрим обучающий пример . Моделирование последовательно поступающих данных при помощи пуассоновского распределения ведет к тому, что некоторые деревья не участвуют в обучении на этом примере, то есть для этих деревьев число обновлений на примере равно нулю. Следовательно, на примере мы можем оценить как для всего леса, так и для дерева, не участвующего в обучении по этому примеру.

Очевидно, что деревья, неспособные верно классифицировать примеры, имеют большое значение . Следовательно, на основе значений можно производить случайное исключение деревьев из ансамбля, причем вероятность исключения -го дерева должна зависеть от .

### 2.4.4. Алгоритм on-line обучения.

Пусть – обучающий пример из последовательности поступающих данных; – число деревьев в ансамбле; Тогда алгоритм on-line обучения случайного леса может быть представлен в следующем виде:

Для каждого дерева выполнить:

1. Найти число обновлений дерева на примере . .
2. Если , то раз обновить дерево на примере . Для всех неразделенных вершин дерева , для которых выполнены условия: число примеров в вершине не менее и – следовать следующему подалгоритму:
3. Из множества выбрать признак , который обеспечивает наилучшее расщепление;
4. Расщепить выборку, соответствующую обрабатываемой вершине, на две подвыборки и построить двух сыновей вершины.
5. Передать значения статистик и левому и правому сыновьям.
6. Если , то оценить .

# Глава 3. Применение методов распознавания образов к задаче сопровождения

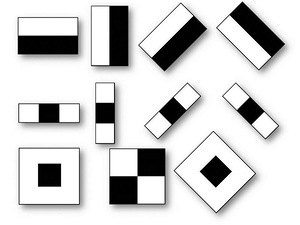
## Интегральное представление изображения

Интегральное представление изображения – это матрица , совпадающая по размерам с исходным изображением. Каждый элемент матрицы представляет собой сумму интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента, и рассчитывается по формуле

Интегральную сумму произвольной прямоугольной области можно вычислить, используя интегральное представление изображения следующим образом:

## Признаки Хаара

Признаки Хаара – это признаки цифрового изображения, представляющие собой прямоугольные области, состоящие из смежных прямоугольных подобластей. Своим названием они обязаны сходством с вейвлетами Хаара и были впервые описаны в работе (Viola Jones).



Значение двух-прямоугольного признака вычисляется, как разность между интегральными суммами пикселей в двух смежных прямоугольных подобластях. Для трех-прямоугольного признака значение вычисляется, как интегральная сумма двух внешних подобластей, вычитаемая из суммы в центральной подобласти. Значение четырех-прямоугольного признака вычисляется, как разность между суммами диагональных пар подобластей.

Рассмотрим вектор признаков , координаты которого представляют значения признаков Хаара, измеряемых в некоторой области, полученной в результате сегментации изображения. Значение признака примем равным единице в случае, если разность интегральных сумм подобластей неотрицательна, и нулю – в противоположном случае.

Написать о том, что у нас всего два класса: «цель» и «не цель».

# Глава 4. Результаты работы программы

# Заключение. Перспективы дальнейшей работы.

[1]

