



Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

***Разработка мультимедийных приложений  
с использованием библиотек OpenCV и IPP***

Лабораторная работа  
Bag-of-words методы классификации изображений

*При поддержке компании Intel*

Половинкин А.Н.,  
кафедра математического обеспечения ЭВМ

# Содержание

---

- ❑ Цели и задачи работы
- ❑ Обзор возможностей модуля `features2d` библиотеки OpenCV:
  - детекторы ключевых точек
  - дескрипторы ключевых точек
  - обучение словаря для методов класса `bag-of-words`
  - вычисление признакового описания изображений в методах класса `bag-of-words`
- ❑ Обзор возможностей модуля `ml` библиотеки OpenCV:
  - алгоритм обучения с учителем «случайный лес»
- ❑ Решение задачи классификации изображений с двумя категориями



# Цели работы

---

- Изучить bag-of-words подход к классификации изображений с использованием реализаций соответствующих функций библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

# Задачи работы

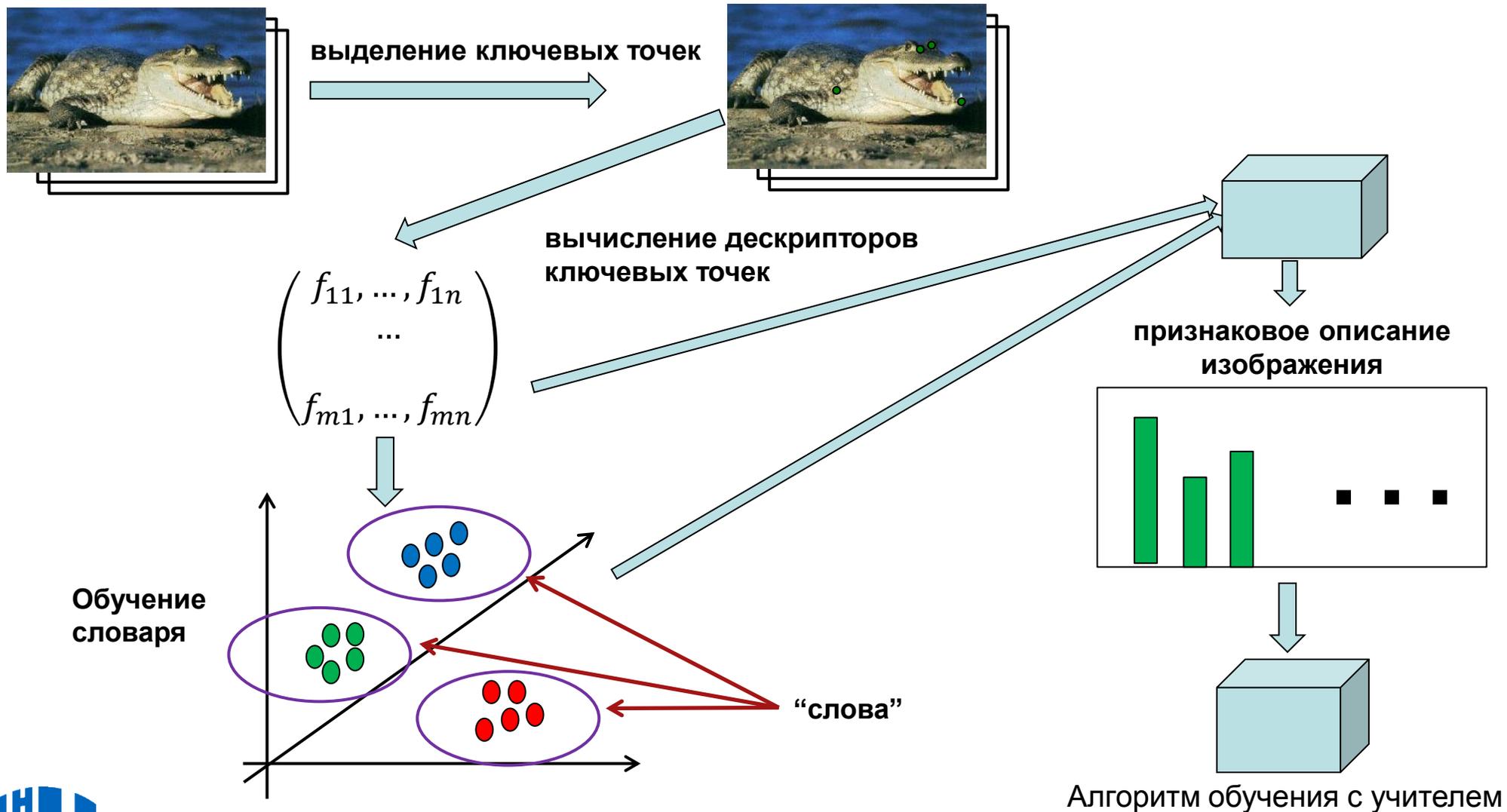
- Изучить принцип работы bag-of-words подхода для классификации изображений:
  - детектирование ключевых точек;
  - вычисление дескрипторов ключевых точек;
  - обучение словаря;
  - построение признакового описания изображения;
  - применение алгоритмов обучения с учителем.
- Рассмотреть прототипы функций, реализующих перечисленные операции в библиотеке OpenCV.
- Разработать прототип программной реализации bag-of-words подхода для классификации изображений.

# Тестовая инфраструктура

---

Операционная система	Microsoft Windows 7
Среда разработки	Microsoft Visual Studio 2010
Библиотеки OpenCV	Версия 2.4.9

# Bag-of-words методы классификации изображений

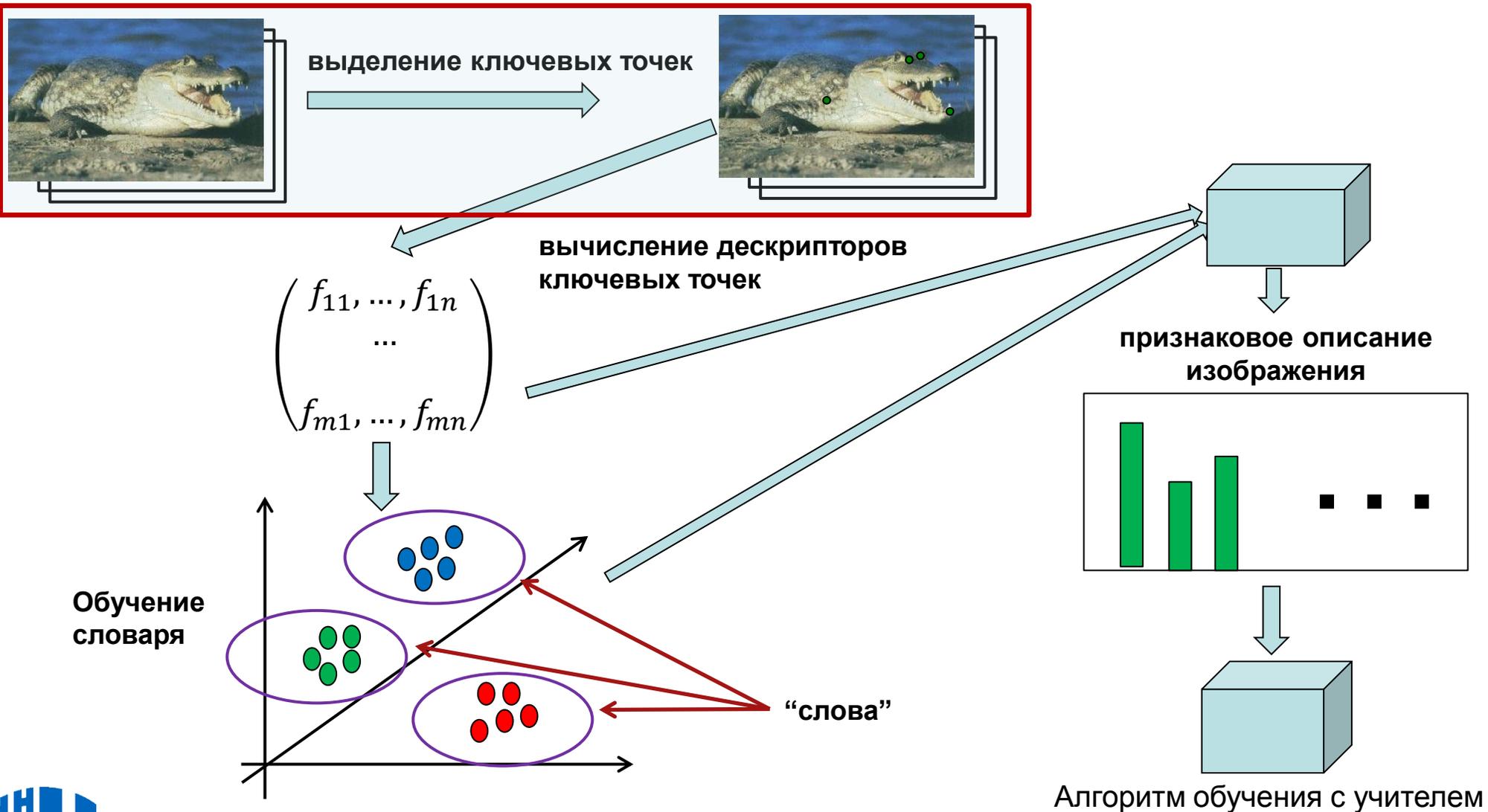


---

# ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ FEATURES2D БИБЛИОТЕКИ OPENCV



# Bag-of-words методы классификации изображений



# Детектирование ключевых точек. Функции OpenCV

```
static Ptr<FeatureDetector> FeatureDetector::create(const string& detectorType)
```

**detectorType** – тип детектора ключевых точек ("FAST", "STAR", "SIFT", "SURF", "ORB", "MSER", "GFTT", "HARRIS", "Dense", "SimpleBlob")

```
void FeatureDetector::detect(const Mat& image,  
vector<KeyPoint>& keypoints, const Mat& mask=Mat() )
```

**image** – исходное изображение

**keypoints** (выходной параметр) – массив детектированных ключевых точек

**mask** – маска, определяющая область изображения, в которой должен выполняться поиск особых точек (данная область соответствует ненулевым элементам матрицы).

# Пример использования

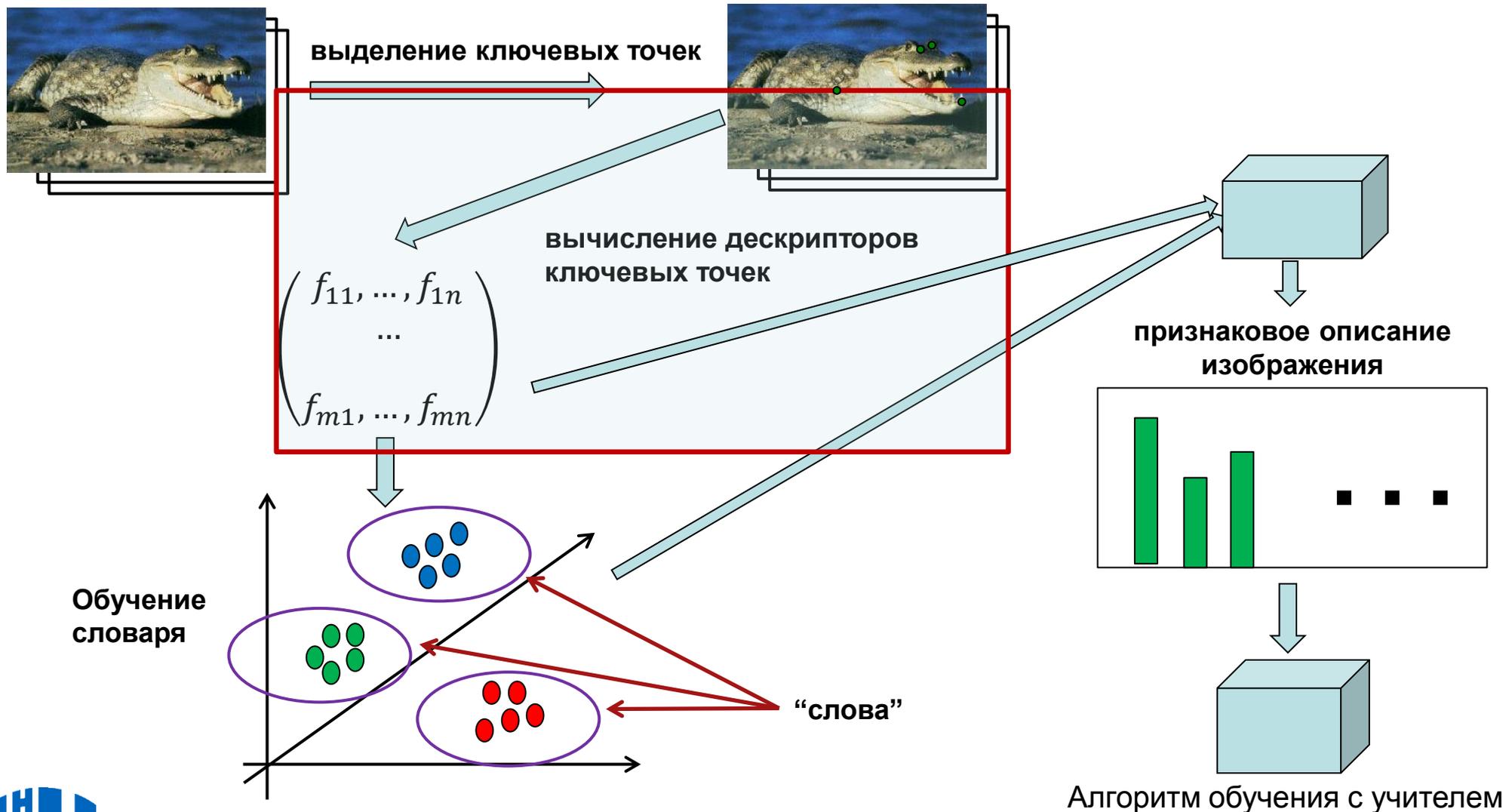
```
...  
Mat img = imread(fileName);  
initModule_nonfree();  
Ptr<FeatureDetector> featureDetector = FeatureDetector::create("SIFT");  
vector<KeyPoint> keypoints;  
featureDetector->detect(img, keypoints);  
...
```

При использовании детекторов SIFT и SURF необходимо дополнительно:

- подключить заголовочный файл ***opencv2/nonfree/nonfree.hpp***;
- подключить библиотеку ***opencv\_nonfree249(d).lib***
- вызвать функцию инициализации модуля:  
***initModule\_nonfree()***;



# Bag-of-words методы классификации изображений



# Вычисление дескрипторов ключевых точек. Функции OpenCV

```
static Ptr<DescriptorExtractor>  
DescriptorExtractor::create(const string& descriptorType)
```

**descriptorType** – тип дескриптора ключевых точек ("SIFT", "SURF", "ORB", "BRIEF")

```
void DescriptorExtractor::compute(const Mat& image,  
vector<KeyPoint>& keypoints, Mat& descriptors)
```

**image** – исходное изображение

**keypoints** – массив ключевых точек, в которых необходимо вычислить дескрипторы

**descriptors** (выходной параметр) – вычисленные дескрипторы особых точек

# Пример использования

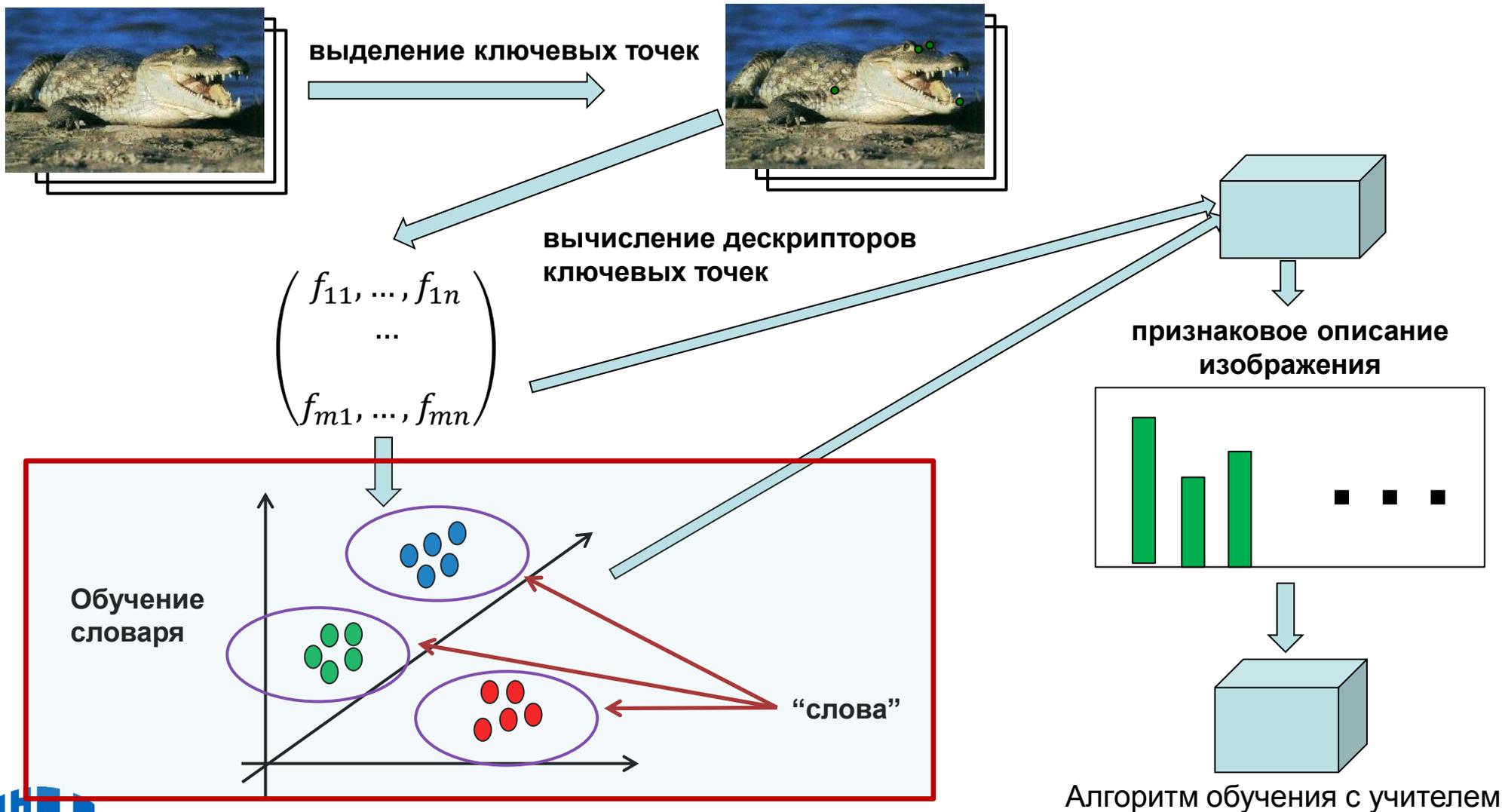
```
...
Mat img = imread(fileName);
initModule_nonfree();
Ptr<FeatureDetector> featureDetector = FeatureDetector::create("SIFT");
vector<KeyPoint> keypoints;
featureDetector->detect(img, keypoints);
Ptr<DescriptorExtractor> dExtractor = DescriptorExtractor::create("SIFT");
Mat descriptors;
dExtractor->compute(img, keypoints, descriptors);
...
```

При использовании детекторов SIFT и SURF необходимо :

- подключить заголовочный файл ***opencv2/nonfree/nonfree.hpp***;
- подключить библиотеку ***opencv\_nonfree249(d).lib***
- вызвать функцию инициализации модуля:  
***initModule\_nonfree()***;



# Bag-of-words методы классификации изображений



# Обучение словаря. Функции OpenCV (1)

```
BOWKMeansTrainer::BOWKMeansTrainer(int clusterCount,  
const TermCriteria& termcrit=TermCriteria(), int  
attempts=3, int flags=KMEANS_PP_CENTERS)
```

**clusterCount** – число «слов» в словаре дескрипторов ключевых точек (число кластеров)

**termcrit** – критерий остановки работы алгоритма кластеризации (максимальное число итераций или(и) по точности (центры кластеров на текущей итерации алгоритма сдвигаются на расстояние не более чем `criteria.epsilon`)

**attempts** – число различным начальным инициализаций центроидов кластеров (будет выбран вариант разбиения объектов на кластеры с наилучшим значением меры компактности кластеров)

**flags** – способ начальной инициализации центроидов

- `KMEANS_RANDOM_CENTERS` – инициализация случайным образом;
- `KMEANS_PP_CENTERS` – использовать метод Arthur и Vassilvitskii



## Обучение словаря. Функции OpenCV (2)

---

**void BOWTrainer::add(const Mat& descriptors)** – добавляет набор объектов к тренировочному множеству (множеству, используемому при построении словаря дескрипторов)

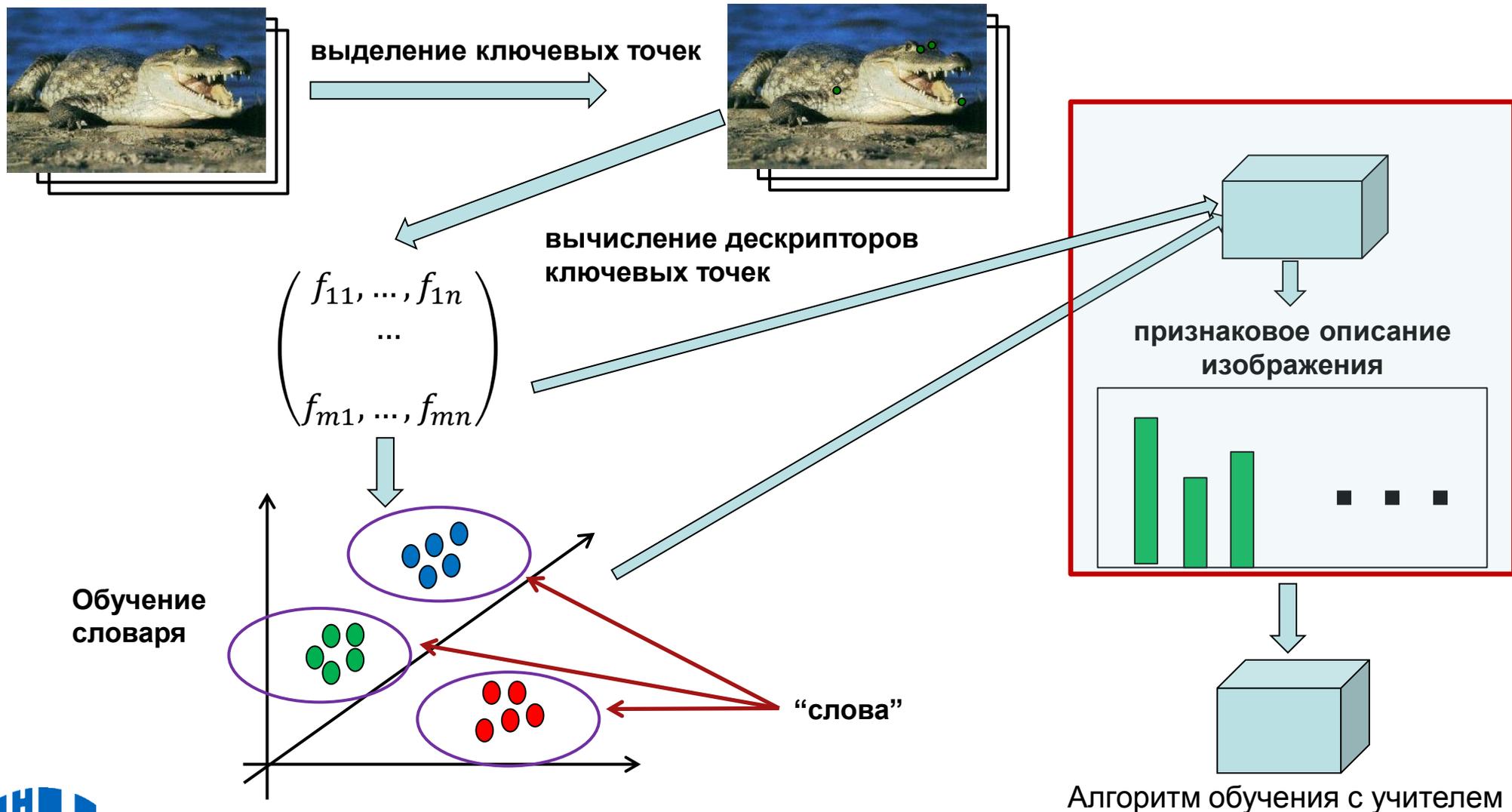
**descriptors** – набор дескрипторов, добавляемых к тренировочному множеству

**Mat BOWTrainer::cluster()** – запускает алгоритм кластеризации, возвращает набор центроидов построенных кластеров (словарь дескрипторов)

# Пример использования

```
// descriptors - предвычисленный набор дескрипторов изображений,  
//              используемый при построении словаря  
// std::vector<Mat> descriptors;  
int vocSize = 100;  
BOWKMeansTrainer bowTrainer(vocSize);  
for (size_t i = 0; i < descriptors.size(); i++)  
{  
    bowTrainer.add(imgDescriptors);  
}  
Mat voc = bowTrainer.cluster();
```

# Bag-of-words методы классификации изображений



# Вычисление признаков описаний изображений. Функции OpenCV

`class BOWImgDescriptorExtractor` – класс, вычисляющий признаковое описание изображения. Вычисление состоит из следующих этапов:

- детектирование ключевых точек на изображении и вычисление их дескрипторов
- нахождение для каждого вычисленного дескриптора ближайшего к нему центроида кластера
- вычисление признакового описания изображения в виде нормированной гистограммы ( $i$ -ый бин гистограммы соответствует числу вхождений  $i$ -го слова из словаря в описание изображения (число дескрипторов, отнесенных к  $i$ -му кластеру))



# Вычисление признаков описаний изображений. Функции OpenCV

```
BOWImgDescriptorExtractor::BOWImgDescriptorExtractor  
(const Ptr<DescriptorExtractor>& dextractor, const  
Ptr<DescriptorMatcher>& dmatcher)
```

**dextractor** – алгоритм, вычисляющий дескрипторы в ключевых точках

**dmatcher** – алгоритм, используемый для нахождения ближайшего центроида к текущему дескриптору ключевой точки

```
void BOWImgDescriptorExtractor::setVocabulary(const Mat&  
vocabulary) – устанавливает используемый словарь дескрипторов
```

**vocabulary** – словарь дескрипторов (каждая строка соответствует центроиду кластера)

# Вычисление признаков описаний изображений. Функции OpenCV

```
void BOWImgDescriptorExtractor::compute(const Mat& image,  
vector<KeyPoint>& keypoints, Mat& imgDescriptor,  
vector<vector<int>>* pointIdxsOfClusters=0, Mat*  
descriptors=0 )
```

***image*** – исходное изображение

***keypoints*** – ключевые точки, в которых вычисляются дескрипторы

***imgDescriptor*** (выходной параметр) – вычисленное признаковое описание изображения в виде нормированной гистограммы частот встречаемости слов

***pointIdxsOfClusters*** (выходной параметр) – набор индексов дескрипторов, относящихся к тому или иному кластеру

***descriptors*** (выходной параметр) – вычисленные значения дескрипторов в ключевых точках

# Пример использования

```
...
// voc - предвычисленный словарь
// Mat voc;
Ptr<FeatureDetector> featureDetector = FeatureDetector::create("SIFT");
Ptr<DescriptorExtractor> dExtractor = DescriptorExtractor::create("SIFT");
Ptr<DescriptorMatcher> descriptorsMatcher =
    DescriptorMatcher::create("BruteForce");
Ptr<BOWImgDescriptorExtractor> bowExtractor = new
    BOWImgDescriptorExtractor( dExtractor, descriptorsMatcher);
bowExtractor->setVocabulary( voc );

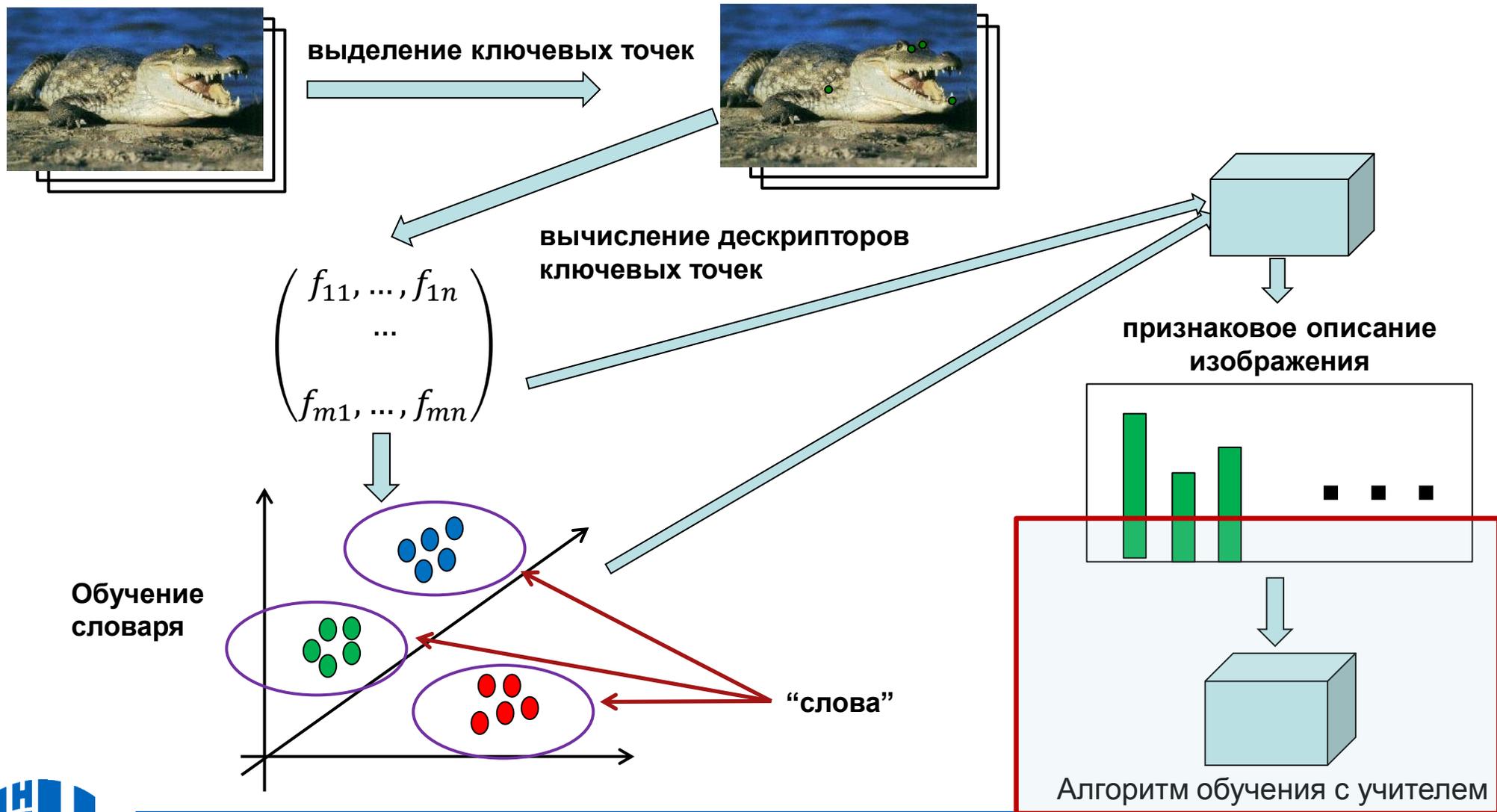
Mat img = imread(fileName);
vector<KeyPoint> keypoints;
featureDetector->detect(img, keypoints);
Mat imgFeatures;
bowExtractor->compute(img, keypoints, imgFeatures);
...
```

---

# ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ ML БИБЛИОТЕКИ OPENCV



# Bag-of-words методы классификации изображений



# Случайный лес. Функции OpenCV

`CvRTPParams::CvRTPParams()` – создает структуру, содержащую параметры обучения алгоритма «случайный лес» по умолчанию

```
bool CvRTrees::train(const Mat& trainData, int tflag,
const Mat& responses, const Mat& varIdx=Mat(), const Mat&
sampleIdx=Mat(), const Mat& varType=Mat(), const Mat&
missingDataMask=Mat(), CvRTPParams params=CvRTPParams() )
```

***trainData*** – обучающая выборка (набор векторов признаков)

***tflag*** – способ хранения данных в матрице *trainData*

- `CV_ROW_SAMPLE` – хранение по строкам
- `CV_COL_SAMPLE` – хранение по столбцам

***responses*** – обучающая выборка (набор ответов)

***varIdx*** – маска, описывающая, какие переменные должны использоваться для построения модели

# Случайный лес. Функции OpenCV

```
bool CvRTrees::train(const Mat& trainData, int tflag,  
const Mat& responses, const Mat& varIdx=Mat(), const Mat&  
sampleIdx=Mat(), const Mat& varType=Mat(), const Mat&  
missingDataMask=Mat(), CvRTParams params=CvRTParams() )
```

**sampleIdx** – маска, описывающая, какие объекты из обучающей выборки должны использоваться для построения модели

**varType** – описание типов входных переменных и ответа (матрица с числом элементов, равным числу признаков + 1; элементы типа CV\_8UC1, каждый элемент принимает значения; CV\_VAR\_ORDERED или CV\_VAR\_CATEGORICAL)

**missingDataMask** – маска, описывающая переменные с отсутствующими значениями

**params** – параметры обучения алгоритма «случайный лес»



# Пример использования

```
...
// Mat trainData;
// Mat responses;
CvRTrees* randomForest = new CvRTrees();
CvRTParams params = CvRTParams();
//устанавливаем выход исключительно по числу итераций
params.term_crit.type = CV_TERMCRIT_ITER;
params.term_crit.max_iter = 200;
int numFeatures = trainData.cols;
Mat varType(1, numFeatures + 1, CV_8UC1);
for (int i = 0; i < numFeatures; i++)
{
    // задаем тип признаков: вещественные
    varType.at<unsigned char>(i) = CV_VAR_ORDERED;
}
// задаем тип ответа: категориальный
varType.at<unsigned char>(numFeatures) = CV_VAR_CATEGORICAL;
randomForest->train(trainData, CV_ROW_SAMPLE, trainResponses, Mat(), Mat(),
varType, Mat(), params);
...
```

---

# **ПРОТОТИП ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ BAG-OF-WORDS ПОДХОДА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

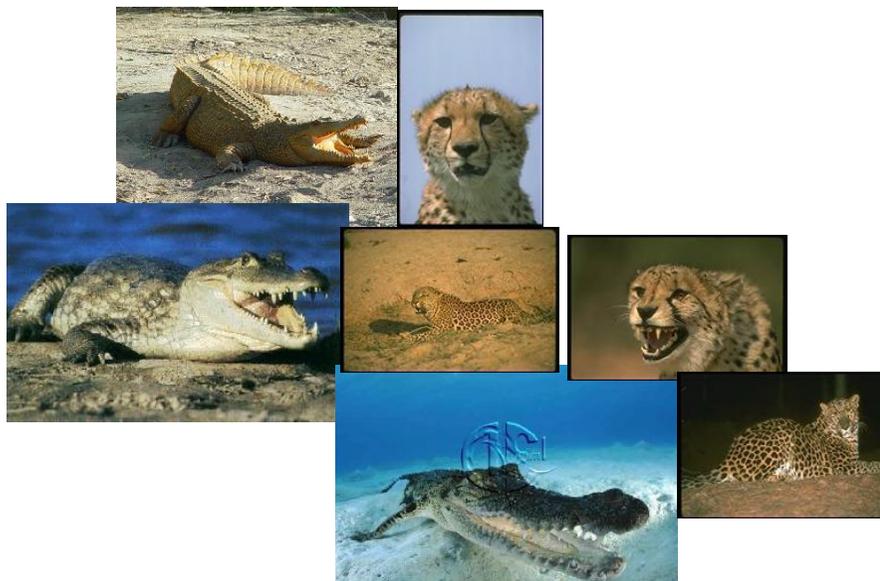


# Постановка задачи



# Описание исходных данных

- 2 директории: *crocodiles* и *leopard*, каждая из которых содержит по 50 изображений. Источник данных: Caltech-101  
[[http://www.vision.caltech.edu/Image\\_Datasets/Caltech101/](http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/Caltech101/)]



# Постановка задачи

- Функциональность разрабатываемой программы:
  - разбиение множества изображений на обучающую и тестовую выборки;
  - для тренировочной выборки:
    - нахождение ключевых точек и вычисление их дескрипторов;
    - обучение словаря;
    - построение признакового описания изображений;
    - формирование обучающей выборки и обучение классификатора «случайный лес».
  - для тестовой выборки:
    - нахождение ключевых точек и вычисление их дескрипторов;
    - построение признакового описания изображений;
    - предсказание категории изображения с использованием обученного классификатора и вычисленных признаков;

# Входные параметры программы

---

- ❑ **string folder1** – путь к директории, содержащей изображения, относящиеся к первой категории
- ❑ **string folder2** – путь к директории, содержащей изображения, относящиеся ко второй категории
- ❑ **string detectorType** – тип детектора ключевых точек
- ❑ **string descriptorType** – тип дескриптора ключевых точек
- ❑ **int vocSize** – размер словаря
- ❑ **double trainProportion** – доля изображений, относящихся к обучающей выборке

# Вспомогательные функции

---

`void GetFilesInFolder(const string& dirPath, std::vector<string>& filesList)` – заполняет массив filesList списком всех \*.jpg файлов из директории dirPath

`void InitRandomBoolVector(vector<bool>& mask, double prob)` – заполняет массив mask случайными булевскими значениями (true с вероятностью, равной prob)

# Основные функции

```
Mat TrainVocabulary(const std::vector<string>& filesList,  
const std::vector<bool>& isVoc, const  
Ptr<FeatureDetector>& keypointsDetector, const  
Ptr<DescriptorExtractor>& descriptorsExtractor, int  
vocSize)
```

***filesList*** – список файлов

***isVoc*** – маска, описывающая набор изображений из filesList, используемых для построения словаря

***keypointsDetector*** – детектор ключевых точек

***descriptorsExtractor*** – алгоритм, используемый для вычисления дескрипторов ключевых точек

***vocSize*** – размер словаря

# Основные функции (1)

```
Mat TrainVocabulary(const std::vector<string>& filesList,  
const std::vector<bool>& isVoc, const  
Ptr<FeatureDetector>& keypointsDetector, const  
Ptr<DescriptorExtractor>& descriptorsExtractor, int  
vocSize)
```

***filesList*** – список файлов

***isVoc*** – маска, описывающая набор изображений из filesList, используемых для построения словаря

***keypointsDetector*** – детектор ключевых точек

***descriptorsExtractor*** – алгоритм, используемый для вычисления дескрипторов ключевых точек

***vocSize*** – размер словаря

# Основные функции (2)

---

```
Mat ExtractFeaturesFromImage (Ptr<FeatureDetector>  
keypointsDetector, Ptr<BOWImgDescriptorExtractor>  
bowExtractor, const string& fileName)
```

***keypointsDetector*** – детектор ключевых точек

***bowExtractor*** – алгоритм, используемый для вычисления признакового описания изображения

***fileName*** – входной файл

# Основные функции (3)

```
void ExtractTrainData(const std::vector<string>&
filesList, const std::vector<bool>& isTrain, const Mat&
responses, const Ptr<FeatureDetector>& keypointsDetector,
const Ptr<BOWImgDescriptorExtractor>& bowExtractor, Mat&
trainData, Mat& trainResponses)
```

***filesList*** – список файлов

***isTrain*** – маска, описывающая набор изображений из filesList, используемых для обучения классификатора «случайный лес»

***responses*** – ответы (категории) для файлов из filesList

***keypointsDetector*** – детектор ключевых точек

***bowExtractor*** – алгоритм, используемый для вычисления признакового описания изображения

***trainData*** (выходной параметр) – матрица, содержащая признаковые описания изображений из обучающей выборки

***trainResponses*** (выходной параметр) – матрица, содержащая ответы (категории) для изображений из обучающей выборки

# Основные функции (4)

`Ptr<CvRTrees> TrainClassifier(const Mat& trainData, const Mat& trainResponses)` – возвращает обученный классификатор «случайный лес»

***trainData*** (выходной параметр) – матрица, содержащая признаковые описания изображений из обучающей выборки

***trainResponses*** (выходной параметр) – матрица, содержащая ответы (категории) для изображений из обучающей выборки

# Основные функции (5)

```
float Predict(const Ptr<FeatureDetector>  
keypointsDetector, const Ptr<BOWImgDescriptorExtractor>  
bowExtractor, const Ptr<CvRTrees> classifier, const  
string& fileName) – возвращает предсказанную категорию для  
изображения
```

***keypointsDetector*** – детектор ключевых точек

***bowExtractor*** – алгоритм, используемый для вычисления признакового описания изображения

***classifier*** – обученный классификатор («случайный лес»)

***fileName*** – входной файл

# Основные функции (6)

`Mat PredictOnTestData(const std::vector<string>& filesList, const std::vector<bool>& isTrain, const Ptr<FeatureDetector> keypointsDetector, const Ptr<BOWImgDescriptorExtractor> bowExtractor, const Ptr<CvRTrees> classifier)` – возвращает набор предсказанных значений для тестовой выборки

*filesList* – список файлов

*isTrain* – маска, описывающая набор изображений из *filesList*, используемых для обучения

*keypointsDetector* – детектор ключевых точек

*bowExtractor* – алгоритм, используемый для вычисления признакового описания изображения

*classifier* – обученный классификатор («случайный лес»)

# Основные функции (7)

`Mat GetTestResponses(const Mat& responses, const vector<bool>& isTrain)` – возвращает набор ответов (категорий) для изображений из тестовой выборки

*responses* – ответы (категории) для всех изображений

*isTrain* – маска, описывающая набор изображений, используемых для обучения

`float CalculateMisclassificationError(Mat& responses, Mat& predictions)` – возвращает ошибку классификации

*responses* – правильные ответы (категории) для всех изображений

*predictions* – предсказанные ответы (категории) для всех изображений

# Структура проекта

---

- ❑ **04\_BowImageClassification.sln** – решение:
  - **BowImageClassification** – основное приложение
  
- ❑ Значения входных параметров:
  - folder1 – путь к папке crocodiles
  - folder2 – путь к папке Leopard
  - detectorType – “SIFT”
  - descriptorType – “SIFT”
  - vocSize – 25
  - trainProportion – 0.5

# Задания для самостоятельной работы

---

- ❑ Добавьте в разработанное приложение вывод информации о изображениях из тестовой выборки, которые были неправильно классифицированы.
- ❑ Добавьте в разработанное приложение возможность использования в качестве используемого классификатора машины опорных векторов с ядром типа Radial Basis Function. Сравните результаты с ранее реализованным подходом.

# Задания для самостоятельной работы

---

- ❑ Выполните исследование зависимости ошибки классификации от используемых параметров (типа используемых детекторов и дескрипторов ключевых точек, числа слов в словаре, параметров алгоритма обучения с учителем «случайный лес»: числа деревьев в ансамбле, максимальной глубины деревьев, входящих в ансамбль).
- ❑ Реализуйте построение словаря на основе Gaussian Mixture Model и сравните полученные результаты с ранее реализованным подходом.

# Авторский коллектив

---

- Половинкин Алексей Николаевич,  
ассистент кафедры  
Математического обеспечения ЭВМ факультета ВМК ННГУ  
[alexey.polovinkin@gmail.com](mailto:alexey.polovinkin@gmail.com)