

# Лабораторная работа №1. Введение в обработку цифровых изображений.

## Начало работы

В Visual Studio создайте проект **Приложение WPF (Microsoft)**, данный курс использует платформу .NET и технологии WPF (примеры выполнены с использованием платформы .NET 7.0):

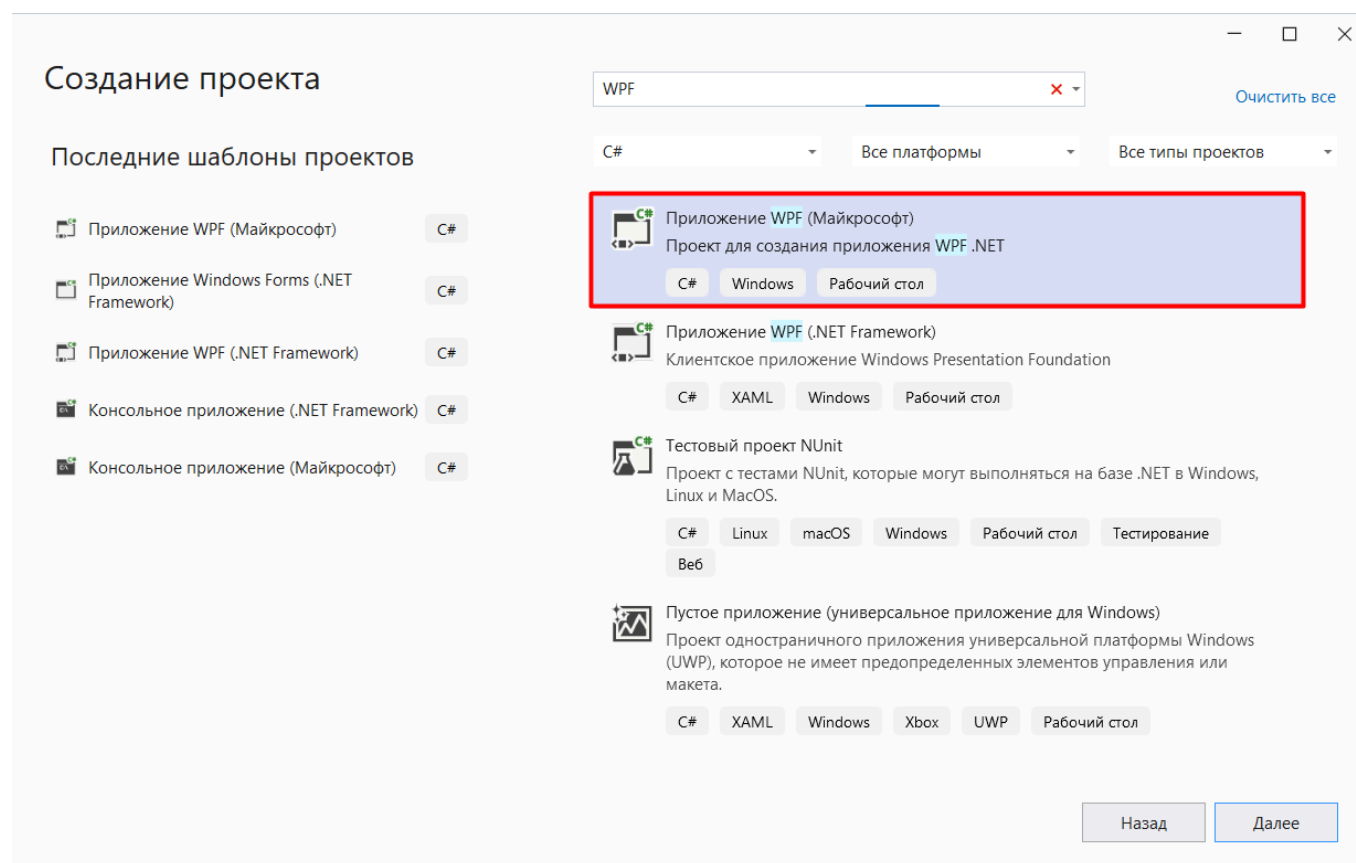


Рисунок 1 - Создание проекта WPF.

После создания проекта перейдите во вкладку **Проект** в верхней панели приложения и выберите пункт **Управление проектами Nuget**:

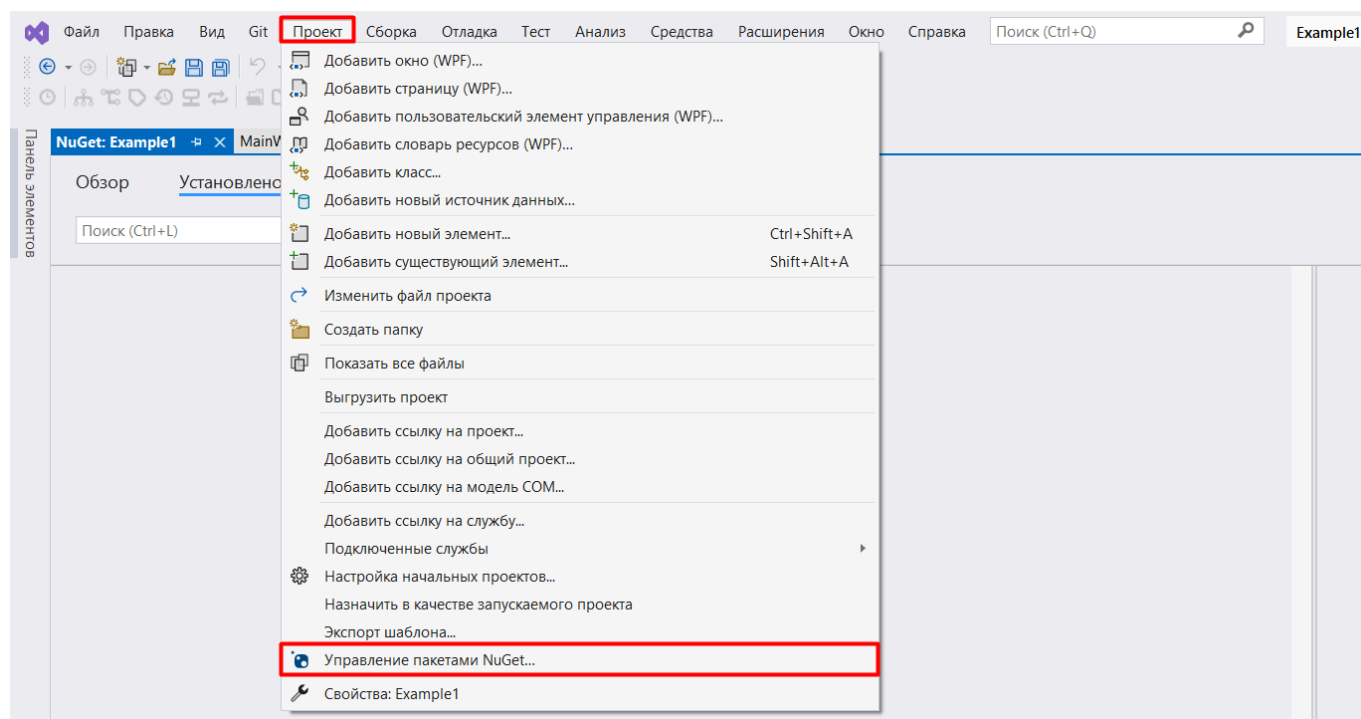
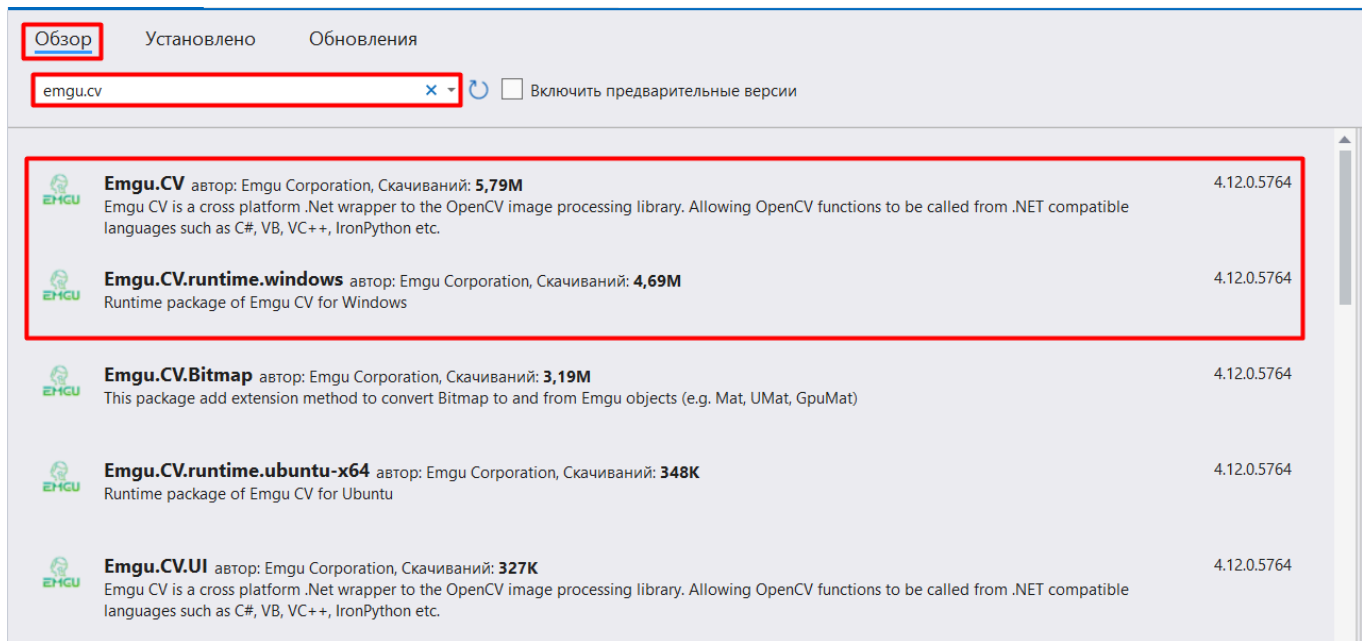


Рисунок 2 - Открытие вкладки управления пакетами.

Затем перейдите в панель **Обзор** и установите следующие пакеты в проект:

- **Emgu.CV** - обертка для библиотеки компьютерного зрения и обработки изображений **OpenCV**. Позволяет использовать функции библиотеки в .NET приложениях.
- **Emgu.CV.runtime.windows** - компонент библиотеки требующийся для запуска приложений на платформе windows.



*Рисунок 3 - Установка пакетов Emgu.CV.*

В проект необходимо добавить пространства имен Emgu.CV.Structure и Emgu.CV. В примере используется следующие пространства имен:

*Блок кода №1. Пространства имен проекта.*

```
1 using System;
2 using System.Windows;
3 using System.Windows.Media;
4 using System.Windows.Media.Imaging;
5 using Microsoft.Win32;
6 //Пространства имен которые необходимо добавить
7 using Emgu.CV.Structure;
8 using Emgu.CV;
```

OpenCV является библиотека с открытым исходным кодом, в данный момент является индустриальным стандартом в области компьютерного зрения и обработки изображений. Использование OpenCV в данном курсе обусловлено её универсальностью, а обертка в виде Emgu.CV обладает возможностями построения удобного пользовательского интерфейса в WPF.

# Обработка растровых изображений

Существует две основных графических технологии - **растровая** и **векторная** графика. Первая представляет изображение в виде сетки пикселей, а вторая – с помощью линий и геометрических фигур. В данном курсе анализ и обработка изображений будет осуществляться с растровыми изображениями.

Как было сказано ранее в растровой графике изображение представлено в виде сетки пикселей. **Пиксель** - это наименьшая единица растрового изображения которая хранит информацию о цвете одной конкретной точки изображения. Если переводить сетку пикселей на язык программирования то изображения можно представить как двумерный массив или матрицу структур хранящих некоторое количество целочисленных и/или вещественных значений о характеристике цвета.

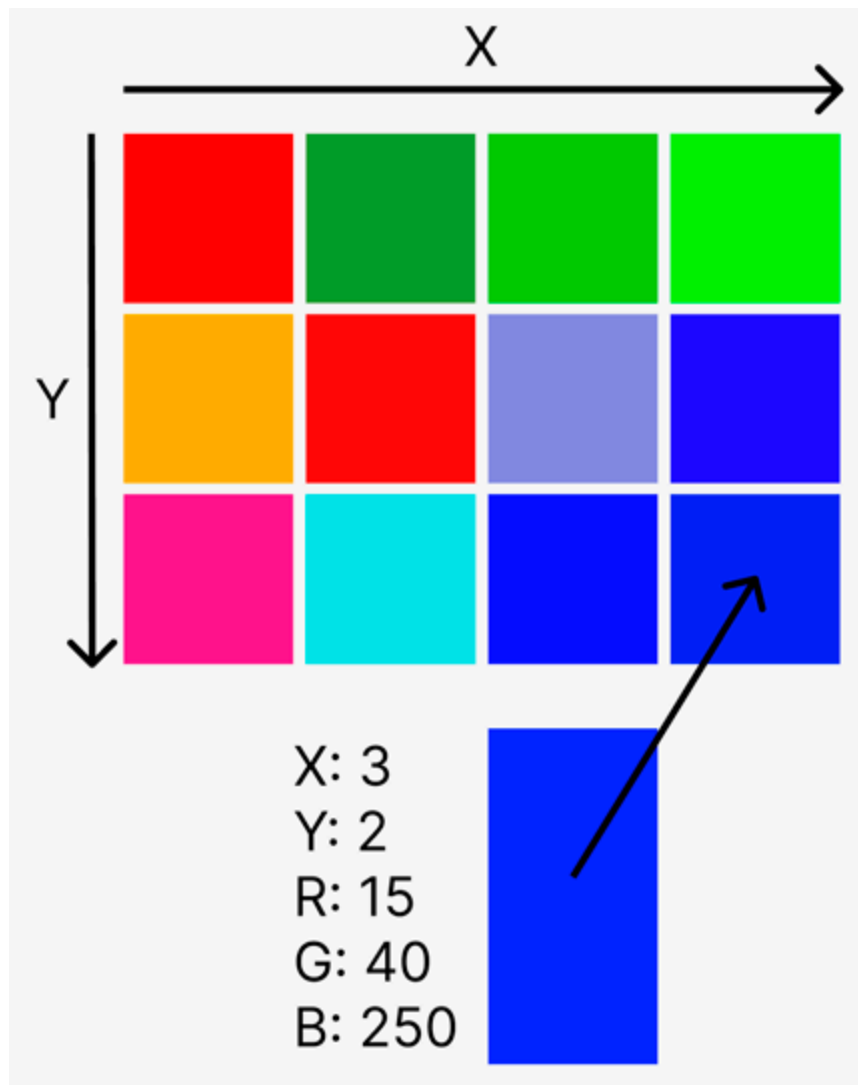


Рисунок 4 - Представление изображения в виде матрицы пикселей и выделение конкретного пикселя как структуры хранящей данные о цвете.

В библиотеке Emgu.CV основным классом для хранения и обработки растровых изображений является обобщенный класс `Image<TColor, TDepth>`. В отличие от стандартного `Bitmap` в .NET, этот класс обеспечивает строгую типизацию цветового пространства и глубины цвета.

**TColor** — это цветовое пространство изображения, оно определяет сколько каналов имеет изображения и что они означают. Все типы цветов являются структурами:

- **Bgr** (Blue-Green-Red) — стандартный формат для OpenCV. **Важно:** каналы идут именно в порядке Синий-Зеленый-Красный, а не в привычном варианте RGB. Имеет три канала.
- **Gray** — одноканальное изображение в оттенках серого (черно-белое).
- **Hsv** — цветовая модель, используемая для специфических алгоритмов цветокоррекции и сегментации, так же имеет три канала.

**TDepth** — определяет тип данных использующийся для хранения одного пикселя в одном канале:

- **byte** (`System.Byte`) — стандарт для изображений (значения от 0 до 255). 8 бит на канал.
- **float** (`System.Single`) — значения с плавающей точкой (обычно нормируются от 0.0 до 1.0).
- **double** — плавающая точка с двойной точностью (так же нормируется от 0.0 до 1.0).

*Блок кода №2. Примеры создания и загрузки изображений с использованием класса `Image<> Emgu.CV`.*

```
1 //Загрузка файла "image.jpg" в формате BGR
2 Image<Bgr, byte> image = new Image<Bgr, byte>("image.jpg");
3
4 //Создание черно-белого изображения размером 640x480
5 Image<Gray, byte> grayImage = new Image<Gray, byte>(640, 480);
```

Класс Image предоставляет свойство Data — это трехмерный массив [height, width, channel], который позволяет читать и изменять пиксели напрямую.

*Блок кода №3. Примеры получения и записи данных из пикселей изображения.*

```
1  int x = 0;
2  int y = 0;
3
4  //Получение данных о синем цвете из пикселя в строке y столбце x
5  byte pixel1 = image.Data[y, x, 0];
6
7  //Запись данных о красном цвете в пиксель в строке y столбце x
8  image.Data[y, x, 0] = pixel1;
9
10 //Получение данных о единственном канале из черно-белого изображения
11 byte pixel2 = grayImage.Data[y, x, 0];
```

**Внимание!** Обращение через свойство .Data[,] в Emgu.CV работает медленно, так как на каждый вызов происходят несколько проверок границ массива. В реальных высокопроизводительных приложениях на OpenCV используются указатели и работа с памятью, но для обучения базовым алгоритмам этот способ подходит лучше из-за своей наглядности.

Так как библиотека Emgu.CV использует свой собственный формат для хранения изображений Image<TColor, TDepth> требуется использовать конвертеры из данного формата в формат стандартный для приложения WPF. В данном случае будет использоваться конвертер в формат BitmapSource который можно удобно передавать в компонент Image для отображения загруженного изображения.

*Блок кода №4. Код функции-конвертера изображения из формата Image<Bgr, byte> в формат BitmapSource.*

```
1  /*/
2  Функция конвертирует изображение из формата Emgu.CV (Image<Bgr, byte>) в
   формат, понятный для WPF (BitmapSource).
3  Это необходимо, чтобы мы могли отобразить результат обработки в элементе
   Image на нашем окне.
4  /*/
5
6  public BitmapSource ToBitmapSource(Image<Bgr, byte> image)
7  {
8      //У каждого объекта Image<,> есть свойство .Mat, которое предоставляет
9      //доступ к матрице пикселей.
```

```

10     var mat = image.Mat;
11
12     return BitmapSource.Create(
13         mat.Width,
14         mat.Height,
15         96d, //Горизонтальное разрешение (DPI), 96 – стандарт для экранов
16         96d, //Вертикальное разрешение (DPI)
17         PixelFormats.Bgr24, //Мы указываем WPF, что данные идут в формате
Bgr, по 24 бита на пиксель (8 бит на синий, 8 на зеленый, 8 на красный).
18         null, //Палитра не используется для 24-битных изображений
19         mat.DataPointer, //Указатель на начало данных изображения в памяти.
20         mat.Step * mat.Height, //Общий размер буфера данных в байтах.
21         mat.Step); // Шаг – это длина одной строки изображения в байтах.
22 }

```

Добавьте в интерфейс компонент Image и дайте ему название (в данном примере он имеет название MainImage), данный компонент будет использоваться для отображения загруженного изображения. Для загрузки изображения можно использовать следующий код:

#### *Блок кода №5. Загрузка и отображение изображения в компоненте Image WPF*

```

1  //Главный объект для работы с изображением в Emgu.CV. Этот объект должен
    быть объявлен глобально в проекте
2  //Это поле будет хранить наше оригинальное изображение для всех операций.
3  private Image<Bgr, byte> sourceImage;
4
5  ...
6
7  public MainWindow()
8  {
9      InitializeComponent();
10     //Создаем объект Image<Bgr, byte> напрямую из пути к файлу, Emgu.CV сам
        его загрузит и декодирует.
11     sourceImage = new Image<Bgr, byte>("image.jpg");
12     //Конвертируем наше Emgu.CV изображение в понятный для WPF формат с
        помощью нашего конвертера.
13     MainImage.Source = ToBitmapSource(sourceImage);
14 }
15

```

Для сохранения изображения можно использовать встроенную в Image<> функцию **Save**, которая в качестве аргумента принимает путь до файла куда требуется записать изображение:

*Блок кода №6. Сохранение изображения используя встроенную в Image<> функцию*

```
1 //У Emgu.CV есть удобный встроенный метод .Save(), в качестве аргумента
  передается путь до файла
2 imageToSave.Save("image.jpg");
```

## **Задача №1.**

Реализуйте функционал загрузки и сохранения изображения из проводника используя классы **OpenFileDialog** и **SaveFileDialog**.



# Попиксельная обработка изображений

Попиксельная обработка — это базовый уровень алгоритмов, где выходное значение пикселя зависит только от его входного значения (или значений в той же координате).

Так как в классе `Image<TColor, TDepth>` изображение представляет собой матрицу, чтобы изменить изображение, необходимо организовать вложенные циклы для прохода по всем координатам.

*Блок кода №7. Цикл прохода по каждому пикселю изображения*

```
1  //Проходим по каждому пикселю изображения.
2  for (int y = 0; y < sourceImage.Rows; y++)
3  {
4      for (int x = 0; x < sourceImage.Cols; x++)
5      {
6
7          //Получаем доступ к пикселю по его координатам (y, x).
8          //Emgu.CV возвращает структуру Bgr, у которой есть поля .Blue,
9          .Green, .Red.
10         Bgr pixel = sourceImage[y, x];
11
12         //Устанавливаем значение каждого канала на 255.
13         pixel.Blue = 255 - pixel.Blue;
14         pixel.Green = 255 - pixel.Green;
15         pixel.Red = 255 - pixel.Red;
16
17         //Записываем измененный пиксель обратно в изображение.
18         sourceImage[y, x] = pixel;
19     }
20
21     //Отображаем результат в окне.
22     //В результате все изображение должно стать белым
23     MainImage.Source = ToBitmapSource(invertedImage);
```

Одним из самых простых алгоритмов изменения изображения является алгоритм инверсии цвета и реализуется по формуле:

*Формула №1. Инверсия цвета.*

$$pixel.Channel = 255 - pixel.Channel,$$

где *pixel* - текущий обрабатываемый пиксель, а *Channel* - значение одного из каналов

Модифицируем предыдущий код для реализации данной формулы и оформим его как отдельную функцию:

*Блок кода №8. Функция инверсии цветов изображения.*

```
1  //ВАЖНО: Мы не хотим изменять оригинальное изображение (sourceImage).
2  //Вместо этого мы создаем его точную копию (клон) и работаем с ней.
3  Image<Bgr, byte> invertedImage = sourceImage.Clone();
4
5  //Проходим по каждому пикселю изображения.
6  for (int y = 0; y < invertedImage.Rows; y++)
7  {
8      for (int x = 0; x < invertedImage.Cols; x++)
9      {
10
11          //Получаем доступ к пикселю по его координатам (y, x).
12          //Emgu.CV возвращает структуру Bgr, у которой есть поля .Blue,
13          .Green, .Red.
14          Bgr pixel = invertedImage[y, x];
15
16          // Инвертируем каждый цветовой канал. Максимальное значение - 255.
17          pixel.Blue = 255 - pixel.Blue;
18          pixel.Green = 255 - pixel.Green;
19          pixel.Red = 255 - pixel.Red;
20
21          //Записываем измененный пиксель обратно в изображение.
22          invertedImage[y, x] = pixel;
23      }
24  }
25
26  //Отображаем результат в окне.
27  MainImage.Source = ToBitmapSource(invertedImage);
```

Другим стандартным алгоритмом попиксельной обработки является алгоритм перевода цветного трехканального изображения в черно-белый формат. Для этого используется следующая формула:

*Формула №2. Конвертация цветного изображения в черно-белое методом усреднения.*

$$grayPixel = \frac{originalPixel.R + originalPixel.G + originalPixel.B}{3}$$

где *grayPixel* - результат в формате *byte*,

*originalPixel* - оригинальный пиксель изображения;

После чего требуется записать результат вычисления в обрабатываемый пиксель:

$$originalPixel.Red = grayPixel$$

$$originalPixel.Green = grayPixel$$

$$originalPixel.Blue = grayPixel$$

Реализовав и проверив данную функцию в коде можно заметить что изображения получаются "плоскими" и неестественными. В действительности корректным решением задачи конвертации цветного изображения в черно-белое является использование формулы светимости Luma (Rec. 601):

*Формула №3. Конвертация цветного изображения в черно-белое по формуле Luma Rec. 601.*

$$grayPixel = originalPixel.Red * 0.299 + originalPixel.Green * 0.587 + originalPixel.Blue * 0.114$$

После получения значения его так же как и в предыдущем варианте требуется записать обратно в обрабатываемый пиксель.

Эти числа основаны на психофизиологии восприятия света человеческим глазом. Наши глаза содержат разные типы колбочек, и мы воспринимаем цвета с разной интенсивностью:

- Зеленый (0.587): Глаз наиболее чувствителен к зеленому спектру. Он кажется нам самым ярким. Поэтому он вносит самый большой вклад (почти 60%) в итоговую яркость пикселя.
- Красный (0.299): Воспринимается менее ярким, чем зеленый.
- Синий (0.114): Кажется нам самым темным цветом. Его вклад в общую яркость минимален (всего около 11%).

## Задача №2.

Реализуйте следующие фильтры обработки изображения:

- Инверсия цвета;
- Конвертация цветного изображения в черно-белое методом усреднения;
- Конвертации цветного изображения в черно-белое по формуле Luma Rec. 601;

# Базовые операции обработки изображения

Такие операции как изменение яркости, контрастности или усиление одного из цветовых каналов так же являются операциями попиксельной обработки.

**Яркость** — это смещение значений интенсивности пикселей. С математической точки зрения это простое прибавление константы ко всем каналам изображения.

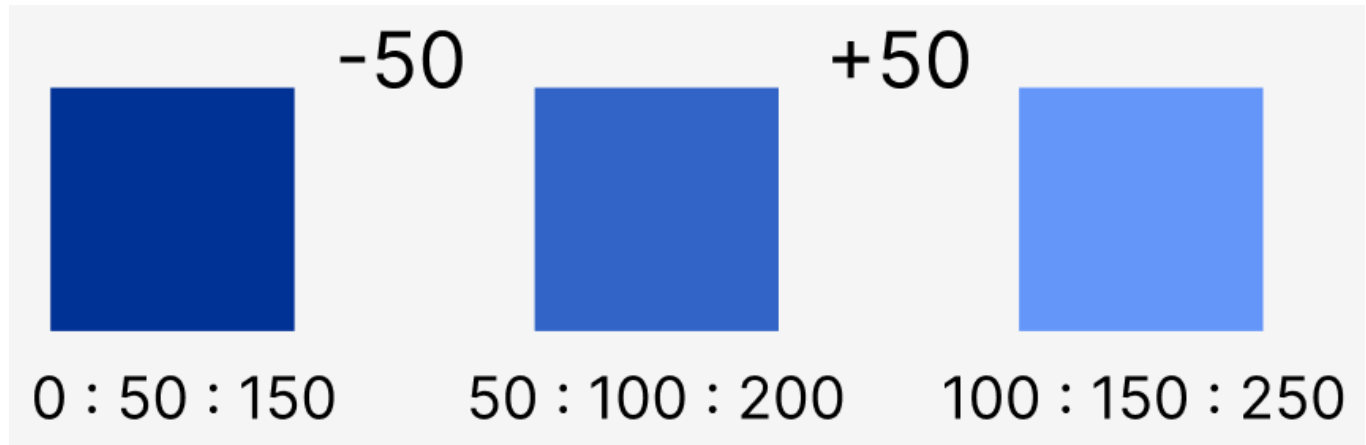


Рисунок 5. Изменение яркости пикселя.

Если прибавляем положительное число — изображение светлеет. Если отрицательное — изображение темнеет. Изменение яркости можно представить следующей формулой:

Формула №4. Изменение яркости.

$$pixel = pixel + brightness$$

где *pixel* - значение цветовых каналов пикселя,  
*brightness* - добавляемое значение яркости;

Перенесем данную формулу в код:

*Блок кода №9. Функция изменения яркости изображения.*

```
1  Image<Bgr, byte> lightImage = sourceImage.Clone();
2
3  // Получаем новое значение со слайдера.
4  int brightness = (int)e.NewValue;
5
6  for (int y = 0; y < lightImage.Rows; y++)
7  {
8      for (int x = 0; x < lightImage.Cols; x++)
9      {
10         Bgr pixel = lightImage[y, x];
11
12         //Прибавляем значение яркости к каждому каналу.
13         int b = (int)pixel.Blue + brightness;
14         int g = (int)pixel.Green + brightness;
15         int r = (int)pixel.Red + brightness;
16
17         //Результат сложения может выйти за пределы 0-255.
18         //Поэтому результат зажимается допустимым диапазоном.
19         pixel.Blue = (byte)Math.Max(0, Math.Min(255, b));
20         pixel.Green = (byte)Math.Max(0, Math.Min(255, g));
21         pixel.Red = (byte)Math.Max(0, Math.Min(255, r));
22
23         lightImage[y, x] = pixel;
24     }
25 }
26
27 MainImage.Source = ToBitmapSource(lightImage);
```

**Контрастность** — это разница между самыми светлыми и самыми темными участками изображения. Повышение контраста делает тени темнее, а света ярче. Если яркость можно представить как сложение, то контрастность - это операция умножения.

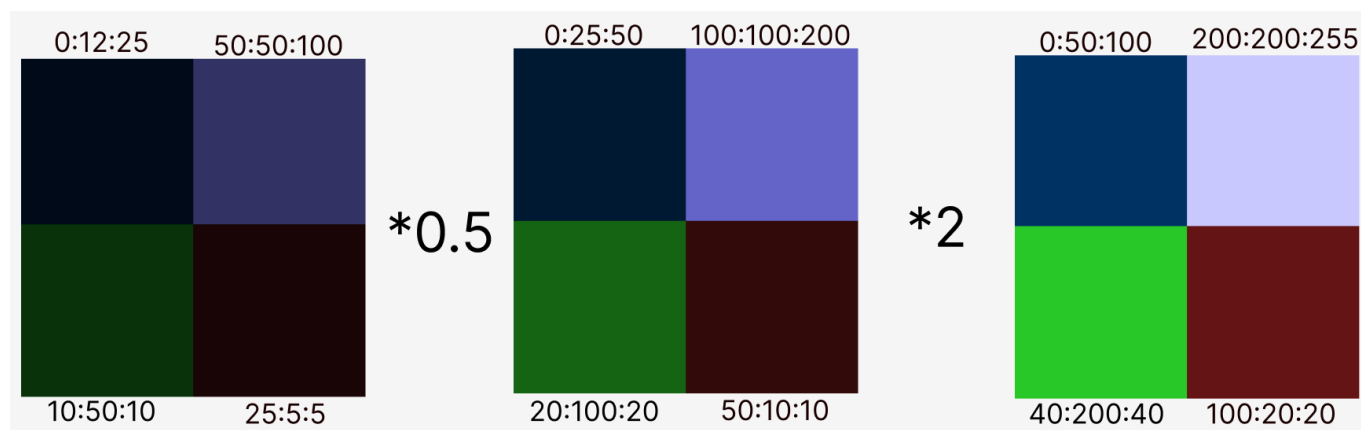


Рисунок 6. Изменение контрастности изображения.

Формула №5. Изменение контраста.

$$pixel = pixel * contrast$$

где *pixel* - значение цветовых каналов пикселя,

*contrast* - коэффициент контрастности;

Обратите внимание: данная формула является упрощенной. В следующей лабораторной работе мы разберем, почему она дает не совсем корректный результат, и реализуем более правильный алгоритм.

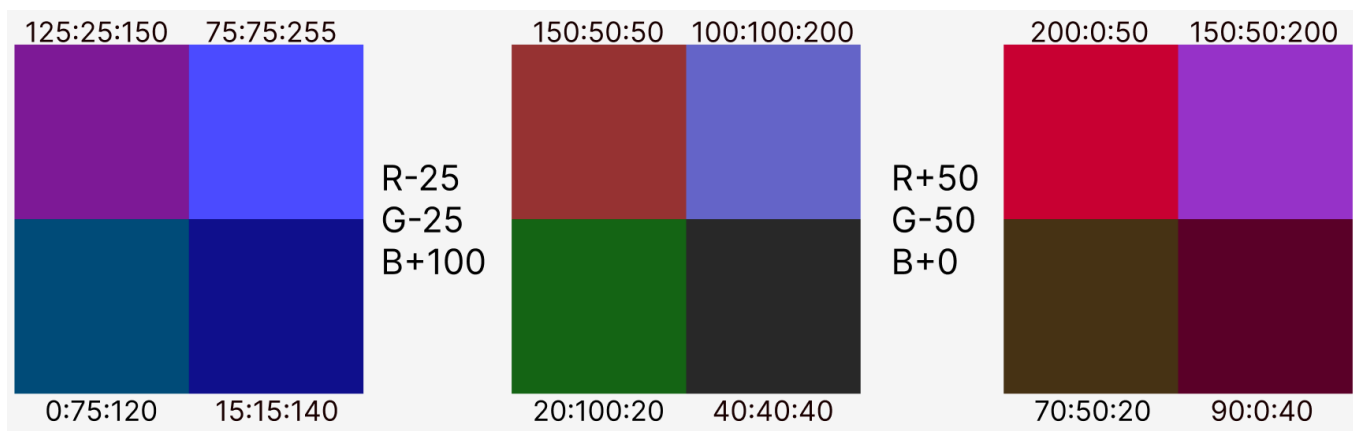
В Emgu.CV изображение Image<Bgr, byte> состоит из трех независимых каналов. Мы можем обрабатывать их отдельно для создания цветowych фильтров. Самым базовым цветowym фильтром является изменение каждого отдельного канала, схожее с изменением яркости, только в данном случае значение прибавляется/отнимается только от одного канала:

*Формула №6. Изменение каналов.*

$$pixel.Red = pixel.Red + red$$

$$pixel.Green = pixel.Green + green$$

$$pixel.Blue = pixel.Blue + blue$$



*Рисунок 7. Изменение каналов изображения.*

### Задача №3.

Реализуйте следующие фильтры:

- Изменение яркости и контрастности изображения в одной функции;
- Изменение цветowych каналов изображения.



# Задание на лабораторную работу №1. Простой редактор изображения.

В данной лабораторной работе требуется разработать простой редактор изображений который включает в себя следующие функции:

1. Загрузка и сохранение изображения. Операции должны выполняться используя стандартный проводник;
2. Если к изображению применен фильтр последующие изменения должны применяться к измененному изображению;
3. Если к изображению применен фильтр должен быть сохранен вариант изображения с примененным эффектом;
4. Функция возвращения на предыдущий шаг/применения изменений к изображению таким образом чтобы можно было вернуть результат до применения фильтра;
5. Фильтры инверсии цветов и два варианта конвертации изображения в черно-белый формат (используя метод усреднения и формулу Luma);
6. Фильтры изменения яркости и контрастности изображения. Для визуального интерфейса рекомендуется использовать ползунки.
7. Фильтры изменения отдельных каналов изображения. Для визуального интерфейса рекомендуется использовать ползунки.

## Полезные ссылки

1. GitHub репозиторий с учебным проектом: <https://github.com/TheSkyEye1/AOCI-Lab1-Simple-Image-Redaction>
2. GitHub релиз проекта демонстрирующий весь функционал реализуемый в работе: <https://github.com/TheSkyEye1/AOCI-Lab1-Simple-Image-Redaction/releases/tag/v1.0.0>
3. Документация Emgu.CV: [https://www.emgu.com/wiki/index.php?title=Main\\_Page](https://www.emgu.com/wiki/index.php?title=Main_Page)

## Дополнительная информация

Функция выполняющая обратную операцию по переводу изображения из формата BitmapSource в формат Emgu.CV Image<>:

*Блок кода №10. Функция конвертации изображения из формата BitmapSource в изображение Image<Bgr, byte>.*

```
1  //Функция конвертирует изображение из формата WPF (BitmapSource) обратно в
   формат Emgu.CV (Image<Bgr, byte>).
2
3  public Image<Bgr, byte> ToEmguImage(BitmapSource source)
4  {
5      if (source == null) return null;
6
7      //Чтобы гарантировать, что у нас есть данные в формате Bgr24, мы создаем
   "конвертер" FormatConvertedBitmap.
8      FormatConvertedBitmap safeSource = new FormatConvertedBitmap();
9      safeSource.BeginInit();
10     safeSource.Source = source;
11     safeSource.DestinationFormat = PixelFormats.Bgr24; //Явно указываем
   нужный нам формат
12     safeSource.EndInit();
13
14     //Создаем пустое изображение Emgu.CV нужного размера.
15     Image<Bgr, byte> resultImage = new Image<Bgr, byte>
   (safeSource.PixelWidth, safeSource.PixelHeight);
16     var mat = resultImage.Mat;
17
18     //Копируем пиксели из WPF-изображения (safeSource) напрямую в память
   нашего Emgu.CV изображения (resultImage).
19     safeSource.CopyPixels(
20         new System.Windows.Int32Rect(0, 0, safeSource.PixelWidth,
   safeSource.PixelHeight), //Какую область копировать
21         mat.DataPointer, //Куда копировать (в начало данных матрицы Emgu.CV)
```

```
22         mat.Step * mat.Height, //Размер буфера назначения
23         mat.Step); //Шаг в буфере назначения
24
25     return resultImage;
26 }
```