

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):

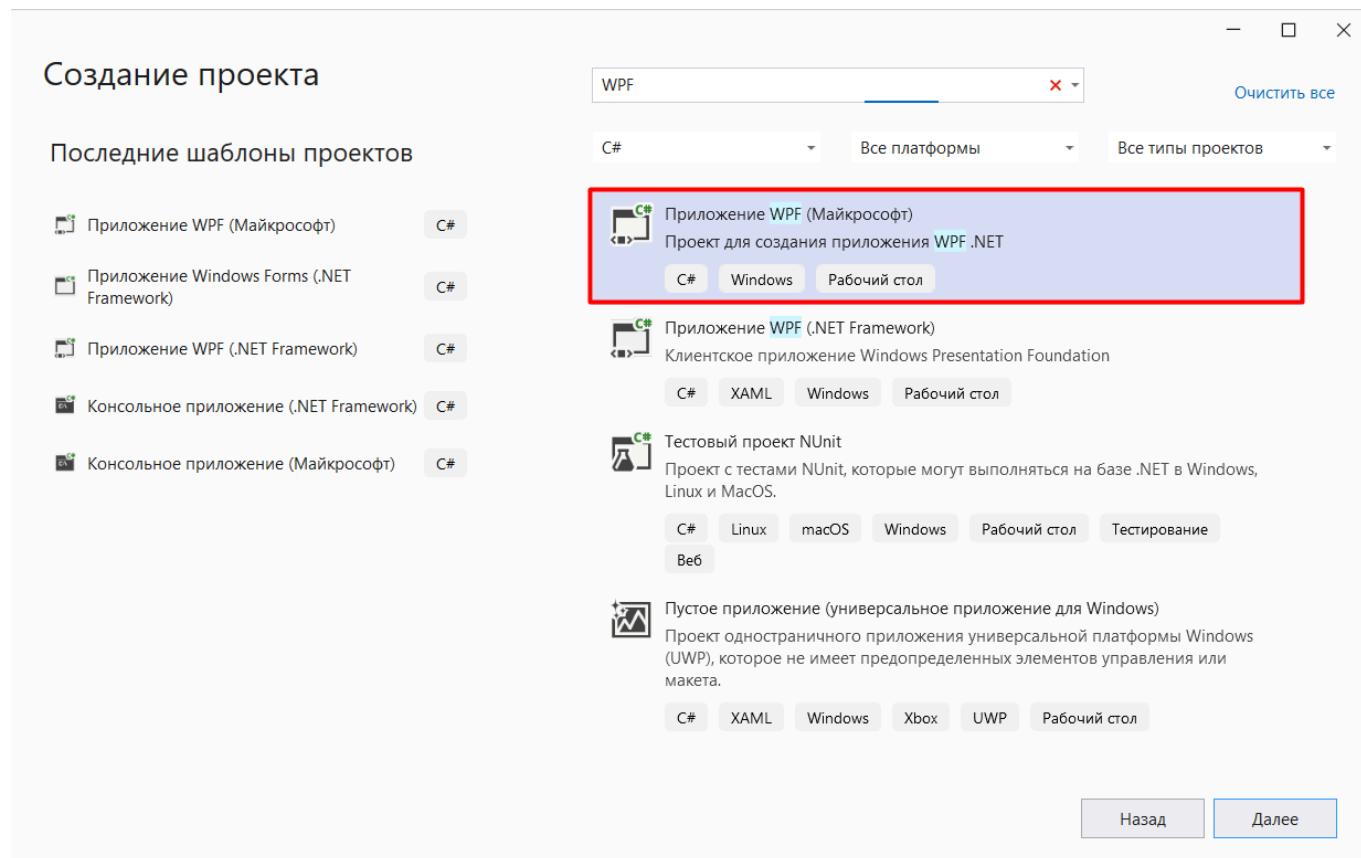


Рисунок 1 - Создание проекта WPF.

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

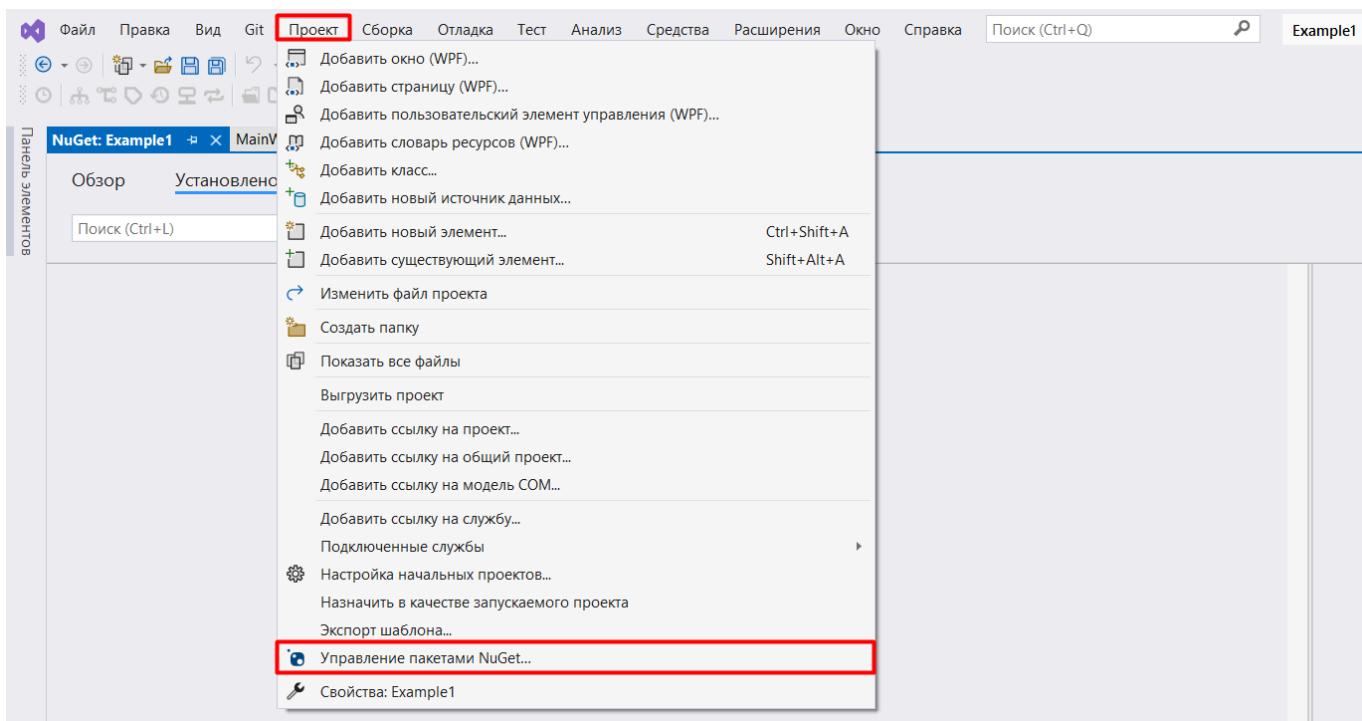


Рисунок 2 - Открытие вкладки управления пакетами.

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.

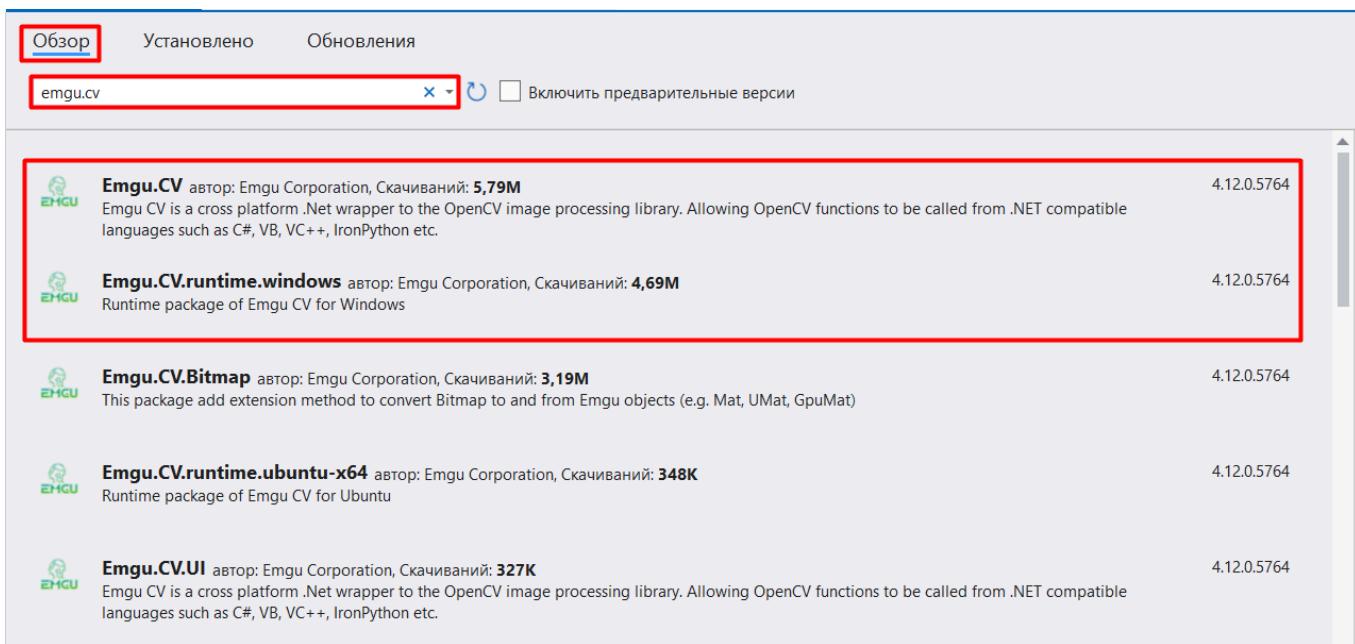


Рисунок 3 - Установка пакетов Emgu.CV.

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 технологий - **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 характеристики цвета.

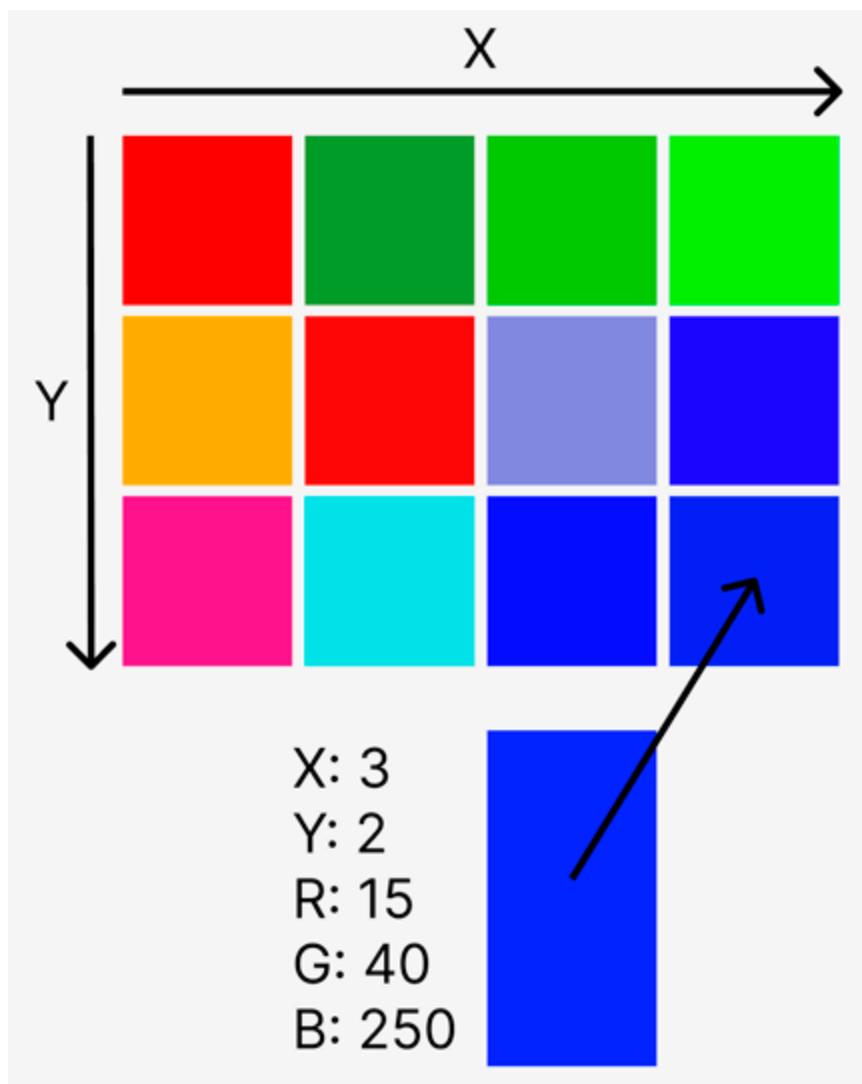


Рисунок 4 - Представление изображения в виде матрицы пикселей и выделение конкретного пикселя как структуры хранящей данные о цвете.

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, использующаяся 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];
```

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
3  формат, понятный для WPF (BitmapSource).
4  Это необходимо, чтобы мы могли отобразить результат обработки в элементе
5  Image на нашем окне.
6 */
7
8 public BitmapSource ToBitmapSource(Image<Bgr, byte> image)
9 {
10     //У каждого объекта Image<,> есть свойство .Mat, которое предоставляет
11     //доступ к матрице пикселей.
12     var mat = image.Mat;
13
14     return BitmapSource.Create(
15         mat.Width,
16         mat.Height,
17         96d, //Горизонтальное разрешение (DPI), 96 – стандарт для экранов
18         96d, //Вертикальное разрешение (DPI)
```

```
17     PixelFormats.Bgr24, //Мы указываем WPF, что данные идут в формате
18     Bgr, по 24 бита на пиксель (8 бит на синий, 8 на зеленый, 8 на красный).
19     null, //Палитра не используется для 24-битных изображений
20     mat.DataPointer, //Указатель на начало данных изображения в памяти.
21     mat.Step * mat.Height, //Общий размер буфера данных в байтах.
22     mat.Step); // Шаг – это длина одной строки изображения в байтах.
```

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

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  
2 //передается путь до файла  
3 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 пикслю 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 пиксль 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 пикслю 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 пикслю 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 пиксль обратно в изображение.
22         invertedImage[y, x] = pixel;
23     }
24
25 //Отображаем результат в окне.
26 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,
 $originalPixel$ - оригиналный 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.

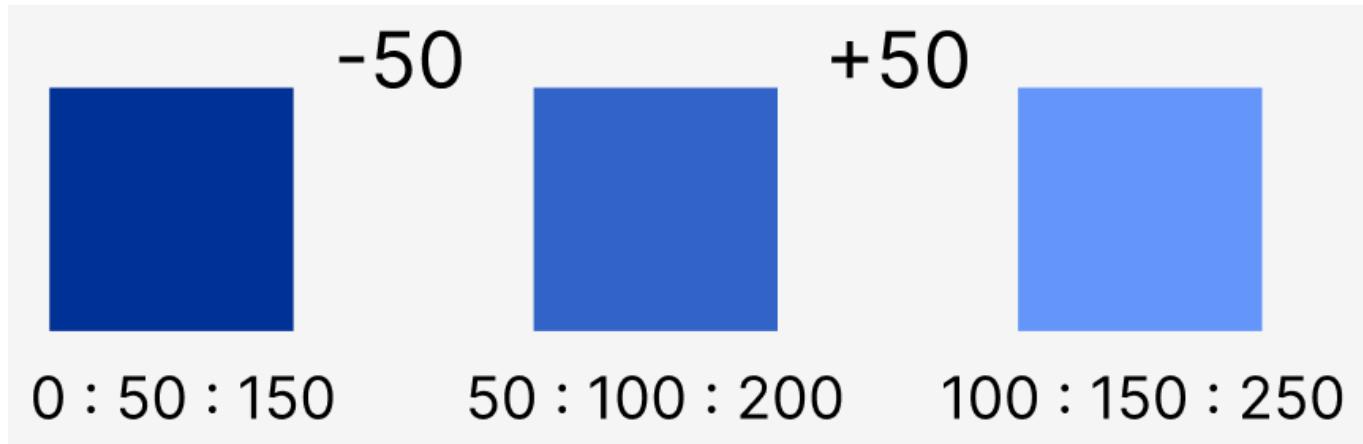


Рисунок 5. Изменение яркости пикселя.

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 допустимом диапазоне.
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.

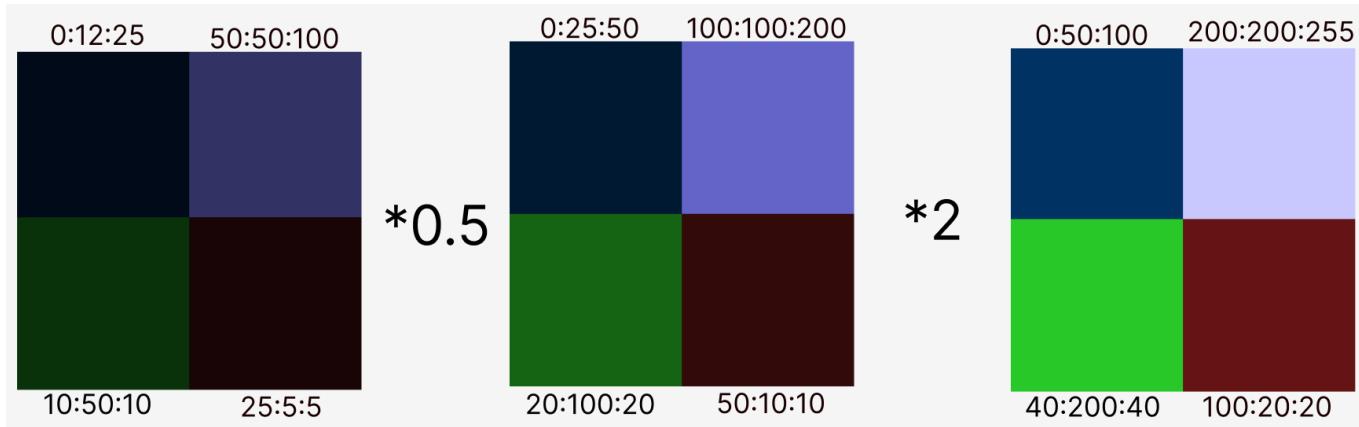


Рисунок 6. Изменение контрастности изображения.

Формула №5. Изменение контраста.

$$pixel = pixel * contrast$$

где $pixel$ - значение цветовых каналов пикселя,
 $contrast$ - коэффициент контрастности;

В Emgu.CV изображение `Image<Bgr, byte>` состоит из трех независимых каналов. Мы можем обрабатывать их раздельно для создания цветовых фильтров. Самым базовым цветовым 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.

$$pixel.\text{Red} = pixel.\text{Red} + red$$

$$pixel.\text{Green} = pixel.\text{Green} + green$$

$$pixel.\text{Blue} = pixel.\text{Blue} + blue$$

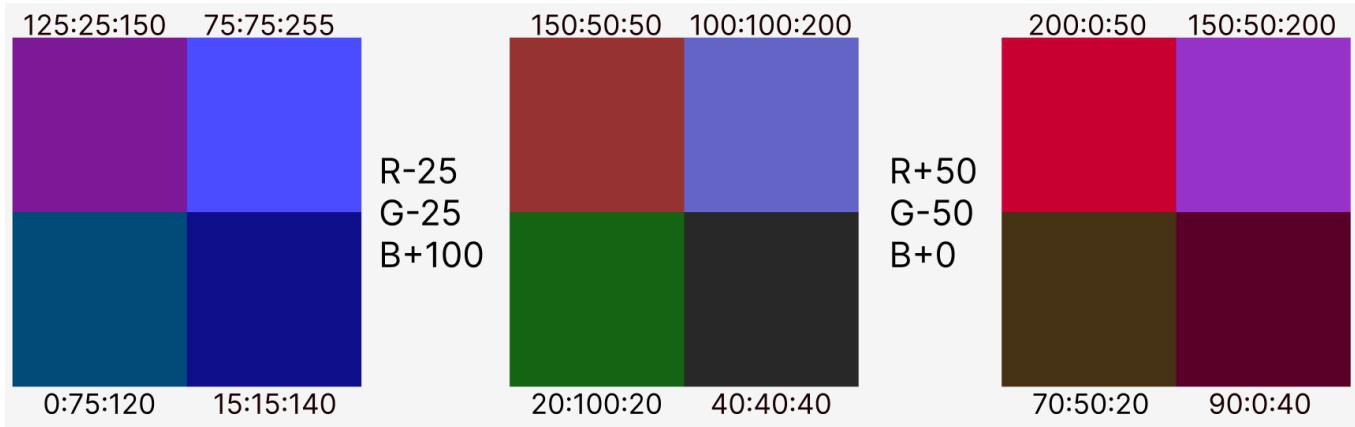


Рисунок 7. Изменение каналов изображения.

Задача №3.

Реализуйте следующие фильтры:

- Изменение яркости и контрастности изображения в одной функции;
- Изменение цветовых 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/AOCL-Lab1-Simple-Image-Redactior>
2. GitHub релиз проекта демонстрирующий весь функционал реализуемый в работе: <https://github.com/TheSkyEye1/AOCL-Lab1-Simple-Image-Redactior/releases/tag/v1.0.0>
3. Документация Emgu.CV: 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<Bgr, byte>:

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

```
1 //Функция конвертирует изображение из формата WPF (BitmapSource) обратно в
2 //формат Emgu.CV (Image<Bgr, byte>).
3
4 public Image<Bgr, byte> ToEmguImage(BitmapSource source)
5 {
6     if (source == null) return null;
7
8     //Чтобы гарантировать, что у нас есть данные в формате Bgr24, мы создаем
9     // "конвертер" FormatConvertedBitmap.
10    FormatConvertedBitmap safeSource = new FormatConvertedBitmap();
11    safeSource.BeginInit();
12    safeSource.Source = source;
13    safeSource.DestinationFormat = PixelFormats.Bgr24; //Явно указываем
14    //нужный нам формат
15    safeSource.EndInit();
16
17
18    //Создаем пустое изображение Emgu.CV нужного размера.
19    Image<Bgr, byte> resultImage = new Image<Bgr, byte>
20    (safeSource.PixelWidth, safeSource.PixelHeight);
21    var mat = resultImage.Mat;
22
23
24    //Копируем пиксели из WPF-изображения (safeSource) напрямую в память
25    //нашего Emgu.CV изображения (resultImage).
26    safeSource.CopyPixels(
27        new System.Windows.Int32Rect(0, 0, safeSource.PixelWidth,
28        safeSource.PixelHeight), //Какую область копировать
29        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 }
```