

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):

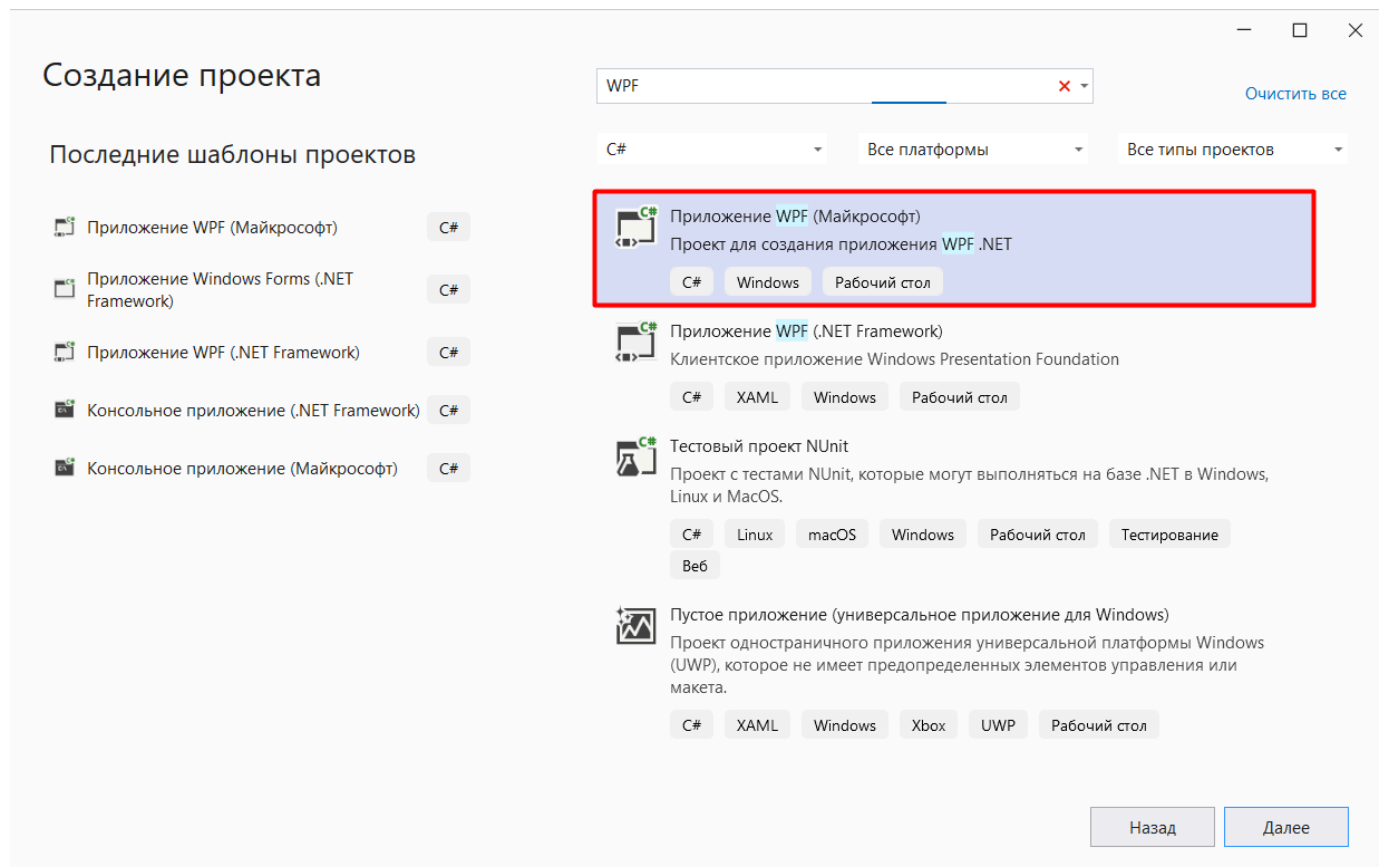


Рисунок 1 - Создание проекта WPF.

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

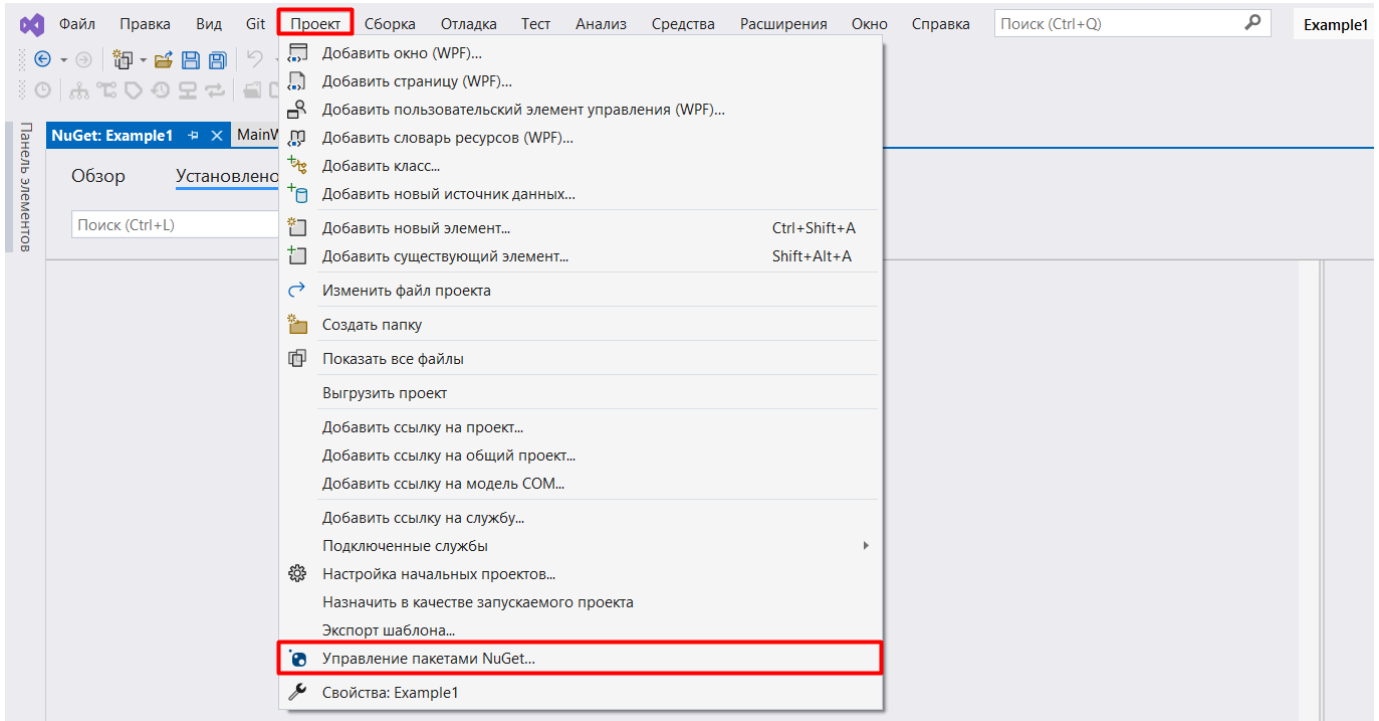


Рисунок 2 - Открытие вкладки управления пакетами.

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.

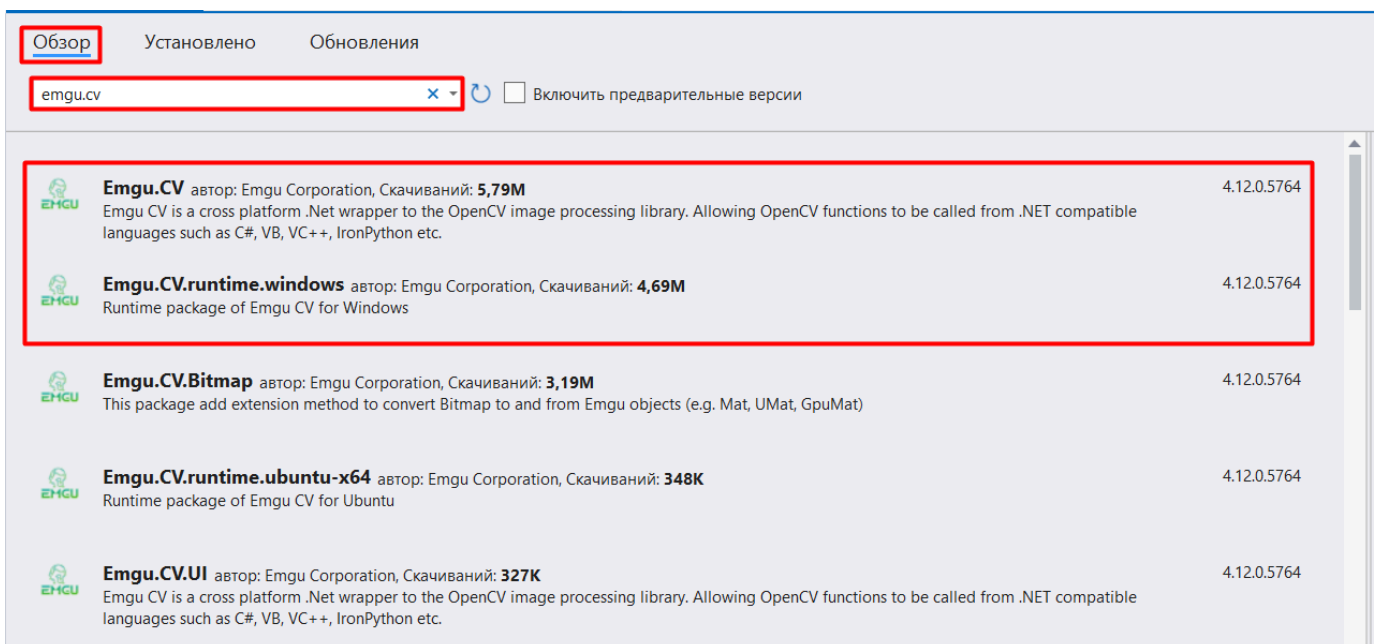


Рисунок 3 - Установка пакетов Emgu.CV.

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 библиотекой с открытым исходным кодом, которая на 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.

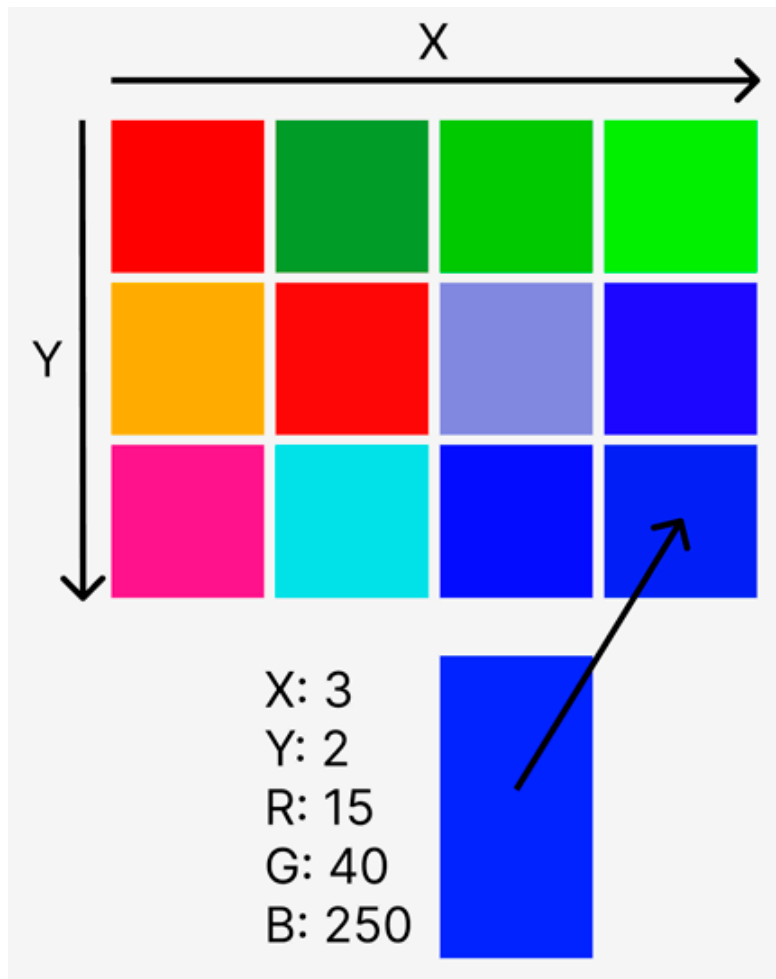


Рисунок 4 - Представление изображения в виде матрицы пикселей и выделение конкретного пикселя как структуры хранящей данные о цвете.

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:

Тип	Кол-во каналов	Краткое описание
Bgr	3	Стандартный формат для OpenCV. Важно: каналы идут именно в порядке Синий-Зеленый-Красный, а не в привычном варианте RGB.
Bgra	4	Тот же Bgr, только с добавлением канала прозрачности Alpha.
Gray	1	Изображение в оттенках серого (черно-белое)
Hsv	3	Цветовая модель, используемая для специфических алгоритмов цветокоррекции и сегментации.

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

Тип	Кол-во бит на канал	Значение
byte	8	от 0 до 255
sbyte	8	от -128 до 127
float	32	от 0.0 до 1.0
double	64	от 0.0 до 1.0

Блок кода №2. Примеры создания и загрузки изображений с использованием класса `Image<TColor, TDepth>` 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, .Green, .Red.
9          Bgr pixel = sourceImage[y, x];
10
11         //Устанавливаем значение каждого канала на 255.
12         //ВАЖНО! Мы используем изображение в формате <Bgr, BYTE> – поэтому значения
           которые мы записываем в каналы пикселя не должны быть больше 255 и меньше 0
13         pixel.Blue = 255;
14         pixel.Green = 255;
15         pixel.Red = 255;
16
17         //Записываем измененный пиксель обратно в изображение.
18         sourceImage[y, x] = pixel;
19     }
20 }
21
22 //Отображаем результат в окне.
23 //В результате все изображение должно стать белым
24 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
заметьте что формула используется для изображений с глубиной цвета записывающихся в формате *byte*

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, .Green, .Red.
13          Bgr pixel = invertedImage[y, x];
14
15          // Инвертируем каждый цветовой канал. Максимальное значение - 255.
16          pixel.Blue = 255 - pixel.Blue;
17          pixel.Green = 255 - pixel.Green;
18          pixel.Red = 255 - pixel.Red;
19
20          //Записываем измененный пиксель обратно в изображение.
21          invertedImage[y, x] = pixel;
22      }
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 - оригинальный пиксель изображения;

После чего требуется записать результат вычисления в обрабатываемый пиксель:

$$originalPixel.Red = grayPixel$$

$$originalPixel.Green = grayPixel$$

$$originalPixel.Blue = grayPixel$$

Важно! Тут мы записываем полученное значение в каждый из каналов цветного изображения чтобы привести его в черно-белый формат. Данный вариант является излишним так как дублирует ненужную информацию, более корректным вариантом является запись значений в изображение в формате <gray, byte>, но вопрос конвертации в разные типы будет разобран подробнее в следующих лабораторных.

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 значения ко всем каналам изображения.

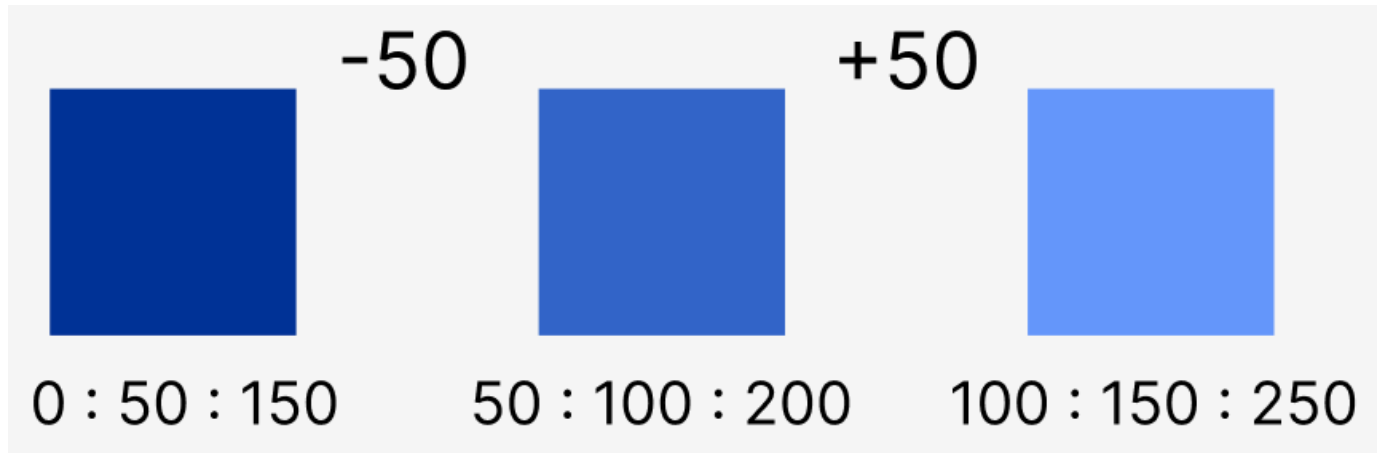


Рисунок 5. Изменение яркости пикселя.

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  // Устанавливаем значение яркости
4  int brightness = 50;
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.

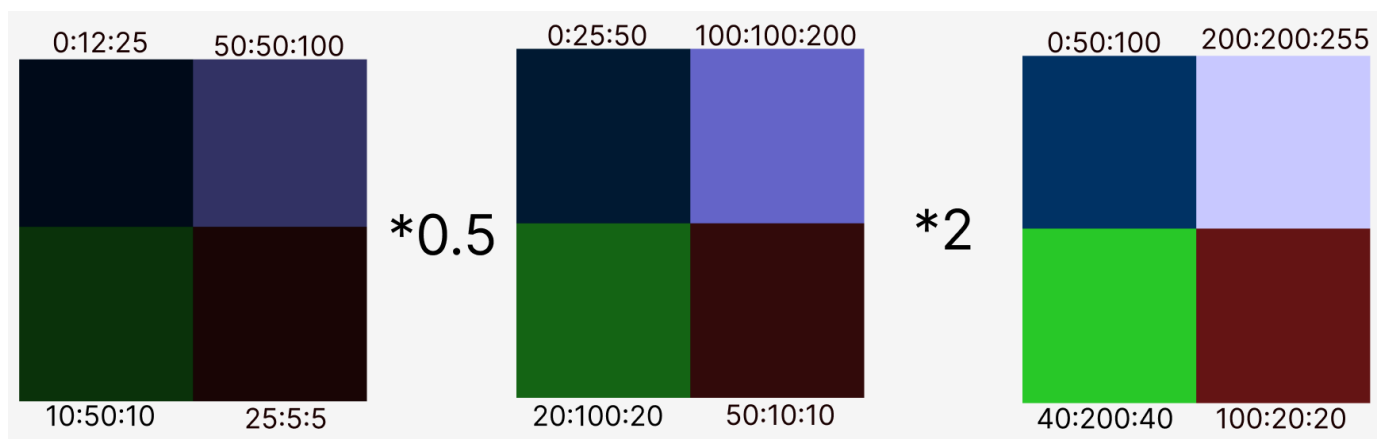


Рисунок 6. Изменение контрастности изображения.

Формула №5. Изменение контраста.

$$pixel = pixel * contrast$$

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

Обратите внимание: данная формула является упрощенной. В следующей лабораторной работе мы разберем, почему она дает результат отличный от привычного контраста, 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. Изменяя каждый канал по отдельности позволяет является основой множества художественных фильтров, оно схоже с изменением яркости, только в данном случае значение прибавляется/отнимается только от одного канала:

Формула №6. Изменение каналов.

$$\begin{aligned} pixel.Red &= pixel.Red + red \\ pixel.Green &= pixel.Green + green \\ pixel.Blue &= pixel.Blue + blue \end{aligned}$$

где *red*, *green* и *blue* - значения переменных для изменения каждого из каналов

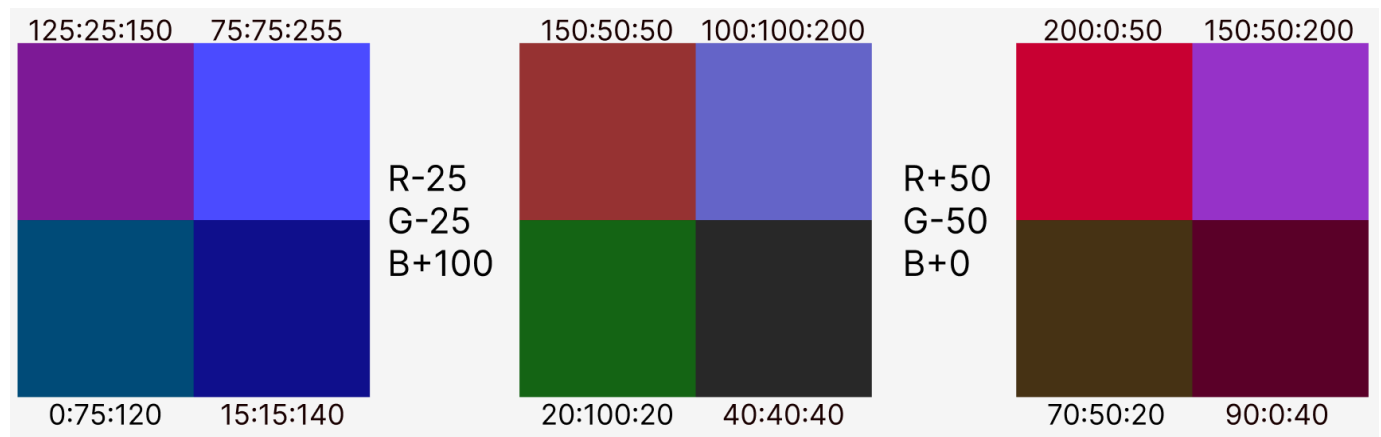


Рисунок 7. Изменение каналов изображения.

Задача №3.

Реализуйте следующие фильтры:

- Изменение яркости и контрастности изображения;
- 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 позволяющая 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 цветовых каналов изображения. Для визуального интерфейса рекомендуется использовать ползунки.

Полезные ссылки

1. GitHub репозиторий с учебным проектом: <https://github.com/TheSkyEye1/AOCI-Lab1-Simple-Image-Redactor>
2. GitHub релиз проекта демонстрирующий весь функционал реализуемый в работе: <https://github.com/TheSkyEye1/AOCI-Lab1-Simple-Image-Redactor/releases/tag/v1.0.0>
3. Документация Emgu.CV: https://www.emgu.com/wiki/index.php?title=Main_Page
4. Работа с изображениями в Emgu.CV https://www.emgu.com/wiki/index.php/Working_with_Images

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 }

```