Лабораторная работа № 2.  
Параллельное программирование  
и библиотека TPL

**Цель лабораторной работы**

Закрепление теоретических знаний по разработке приложений для параллельных вычислений.

**Постановка задачи**

В эпоху многоядерных машин, которые позволяют параллельно выполнять сразу несколько процессов, стандартных средств работы с потоками в .NET уже оказалось недостаточно. Поэтому во фреймворк .NET была добавлена библиотека параллельных задач TPL (Task Parallel Library), основной функционал которой располагается в пространстве имен System.Threading.Tasks. Данная библиотека упрощает работу с многопроцессорными, многоядерными системами. Кроме того, она упрощает работу по созданию новых потоков. Поэтому обычно рекомендуется использовать именно TPL и ее классы для создания многопоточных приложений, хотя стандартные средства и класс Thread по-прежнему находят широкое применение.

В основе библиотеки TPL лежит концепция задач, каждая из которых описывает отдельную продолжительную операцию. В библиотеке классов .NET задача представлена специальным классом - классом Task, который находится в пространстве имен System.Threading.Tasks. Данный класс описывает отдельную задачу, которая запускается асинхронно в одном из потоков из пула потоков. Хотя ее также можно запускать синхронно в текущем потоке.

**Первый** способ создание объекта **Task** и вызов у него метода **Start**:

Task task = new Task(() => Console.WriteLine("Hello Task!"));

task.Start();

**Второй** способ заключается в использовании статического метода **Task.Factory.StartNew()**. Этот метод также в качестве параметра принимает делегат **Action**, который указывает, какое действие будет выполняться. При этом этот метод сразу же запускает задачу:

Task task = Task.Factory.StartNew(

() => Console.WriteLine("Hello Task!"));

**Третий** способ определения и запуска задач представляет использование статического метода **Task.Run()**:

Task task = Task.Run(() => Console.WriteLine("Hello Task!"));

Метод **Task.Run()** также в качестве параметра может принимать делегат Action - выполняемое действие и возвращает объект Task.

**Ожидание завершения задачи.**

Чтобы приложение ожидало завершения задачи, можно использовать метод **Wait()** объекта Task:

Task task1 = new Task(() => Console.WriteLine("Task1 is executed"));

task1.Start();

Task task2 = Task.Factory.StartNew(() => Console.WriteLine("Task2 is executed"));

Task task3 = Task.Run(() => Console.WriteLine("Task3 is executed"));

task1.Wait(); // ожидаем завершения задачи task1

task2.Wait(); // ожидаем завершения задачи task2

task3.Wait(); // ожидаем завершения задачи task3

Стоит отметить, что метод Wait() блокирует вызывающий поток, в котором запущена задача, пока эта задача не завершит свое выполнение (рисунок 1).

**Например**:

Console.WriteLine("Main Starts");

// создаем задачу

Task task1 = new Task(() =>

{

Console.WriteLine("Task Starts");

Thread.Sleep(1000); // задержка на 1 секунду - имитация долгой работы

Console.WriteLine("Task Ends");

});

task1.Start(); // запускаем задачу

task1.Wait(); // ожидаем выполнения задачи

Console.WriteLine("Main Ends");

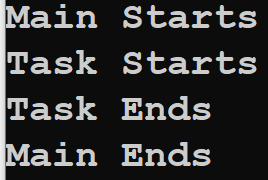


Рисунок 1 – Запуск задачи с ожиданием завершения

Для эмуляции долговременной работы здесь в задаче task1 устанавливается задержка на 1 секунду. В итоге, когда выполнение дойдет до вызова task1.Wait() основной поток остановит свое выполнение и будет ждать завершения задачи.

**Свойства класса Task.**

**Status**: возвращает статус задачи. Представляет перечисление System.Threading.Tasks.TaskStatus, которое имеет следующие значения:

* **Canceled**: задача отменена;
* **Created**: задача создана, но еще не запущена;
* **Faulted**: в процессе работы задачи произошло исключение;
* **RanToCompletion**: задача успешно завершена;
* **Running**: задача запущена, но еще не завершена;
* **WaitingForActivation**: задача ожидает активации и постановки в график выполнения;
* **WaitingForChildrenToComplete**: задача завершена и теперь ожидает завершения прикрепленных к ней дочерних задач;
* **WaitingToRun**: задача поставлена в график выполнения, но еще не начала свое выполнение;

**IsCompleted**: возвращает true, если задача завершена;

**IsCanceled**: возвращает true, если задача была отменена;

**IsFaulted**: возвращает true, если задача завершилась при возникновении исключения;

**IsCompletedSuccessfully**: возвращает true, если задача завершилась успешно.

**Пример:**

Task task1 = new Task(() =>

{

Console.WriteLine(

$"Task{Task.CurrentId} Starts");

Thread.Sleep(1000);

Console.WriteLine(

$"Task{Task.CurrentId} Ends");

});

task1.Start(); //запускаем задачу

// получаем информацию о задаче

Console.WriteLine($"task1 Id: {task1.Id}");

Console.WriteLine($"task1 is Completed: {task1.IsCompleted}");

Console.WriteLine($"task1 Status: {task1.Status}");

task1.Wait(); // ожидаем завершения задачи

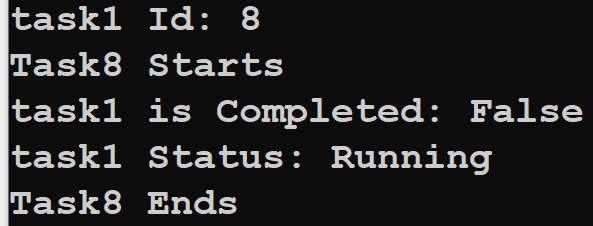


Рисунок 2 – Запуск задачи с отображением свойств

**Вложенные задачи.**

Одна задача может запускать другую - вложенную задачу. При этом эти задачи выполняются независимо друг от друга. **Например:**

var outer = Task.Factory.StartNew(() => // внешняя задача

{

Console.WriteLine("Outer task starting...");

var inner = Task.Factory.StartNew(() => // вложенная задача

{

Console.WriteLine("Inner task starting...");

Thread.Sleep(2000);

Console.WriteLine("Inner task finished.");

});

});

// ожидаем выполнения внешней задачи

outer.Wait();

Console.WriteLine("End of Main");

Вложенная задача может завершиться даже после завершения метода Main.

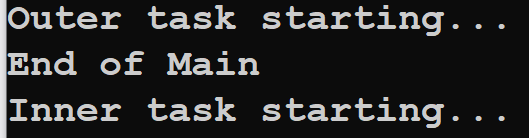


Рисунок 3 – Запуск вложенной задачи

Если необходимо, чтобы вложенная задача выполнялась как часть внешней, необходимо использовать значение

TaskCreationOptions.AttachedToParent:

var outer = Task.Factory.StartNew(() => // внешняя задача

{

Console.WriteLine("Outer task starting...");

var inner = Task.Factory.StartNew(() => // вложенная задача

{

Console.WriteLine("Inner task starting...");

Thread.Sleep(2000);

Console.WriteLine("Inner task finished.");

}, TaskCreationOptions.AttachedToParent);

});

outer.Wait(); // ожидаем выполнения

Console.WriteLine("End of Main");

Внешняя задача завершится когда завершатся все прикрепленные к ней вложенные задачи.

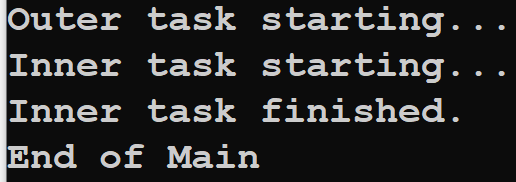


Рисунок 4 – Ожидание завершения вложенной задачи

**Массив задач.**

Task[] tasks = new Task[3];

for (var i = 0; i < tasks.Length; i++)

{

var index = i;

tasks[i] = new Task(() =>

{

Thread.Sleep(1000); // эмуляция долгой работы

Console.WriteLine($"Task{index} finished");

});

tasks[i].Start(); // запускаем задачу

}

Console.WriteLine("Завершение метода Main");

Task.WaitAll(tasks); // ожидаем завершения всех задач

**Получение результата выполнения задачи.**

int n1 = 4, n2 = 5;

Task<int> sumTask = new Task<int>(() => Sum(n1, n2));

sumTask.Start();

int result = sumTask.Result;

Console.WriteLine($"{n1} + {n2} = {result}"); // 4 + 5 = 9

int Sum(int a, int b) => a + b;

При обращении к свойству **Result** текущий поток останавливает выполнение и ждет, когда будет получен результат из выполняемой задачи.

**Задачи-продолжения.**

Задачи продолжения или **continuation task** позволяют определить задачи, которые выполняются после завершения других задач.

Благодаря этому мы можем вызвать после выполнения одной задачи несколько других, определить условия их вызова, передать из предыдущей задачи в следующую некоторые данные.

Задачи продолжения похожи на методы обратного вызова, но фактически являются обычными задачами **Task**.

Посмотрим на **примере**:

Task<int> sumTask = new Task<int>(() => Sum(4, 5));

// задача продолжения

Task printTask = sumTask.ContinueWith(task => PrintResult(task.Result));

sumTask.Start();

// ждем окончания второй задачи

printTask.Wait();

Console.WriteLine("Конец метода Main");

int Sum(int a, int b) => a + b;

void PrintResult(int sum) => Console.WriteLine($"Sum: {sum}");

Рассмотрим **пример параллельного вычисления интеграла**.

double Integrate(double from, double to, int intervals = 100)

{

var integral = 0.0;

var step = (to - from) / intervals;

for (int i = 0; i < intervals; i++) {

var xLeft = from + i \* step;

var xRight = xLeft + step;

integral += (f(xLeft) + f(xRight)) / 2 \* step;

}

return integral;

}

double f(double x) => x \* x;

var from = 0.0;

var to = 1.0;

//Разобьём интеграл на множество интегралов, равное количеству ядер ЦП

var integralTasks = new Task<double>[Environment.ProcessorCount];

var step = (to - from) / integralTasks.Length;

for (var i = 0; i < integralTasks.Length; i++)

{

var xLeft = from + i \* step;

var xRight = xLeft + step;

integralTasks[i] = Task.Run(() => Integrate(xLeft, xRight, 100000000));

}

Task.WaitAll(integralTasks);

Console.WriteLine(integralTasks.Sum(t => t.Result));

**Parallel.For**(int, int, Action<int>)

Метод **Parallel.For** позволяет выполнять итерации цикла параллельно.

Первый параметр метода задает начальный индекс элемента в цикле, а второй параметр - конечный индекс. Третий параметр - делегат Action - указывает на метод, который будет выполняться один раз за итерацию:

Parallel.For(1, 5, Square);

// вычисляем квадрат числа

void Square(int n)

{

Console.WriteLine($"Выполняется задача {Task.CurrentId}");

Console.WriteLine($"Квадрат числа {n} равен {n \* n}");

Thread.Sleep(2000);

}

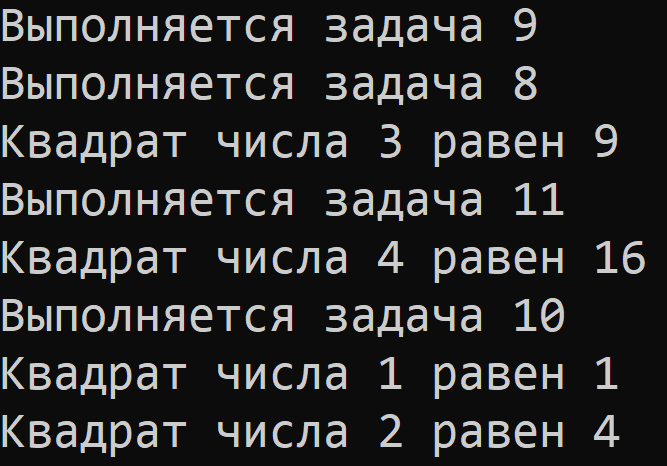


Рисунок 5 – Параллельный расчет квадратов чисел в цикле for

**Parallel.ForEach<TSource>(IEnumerable<TSource> source,Action<TSource> body)**

Метод Parallel.ForEach осуществляет итерацию по коллекции, реализующей интерфейс IEnumerable, подобно циклу foreach, только осуществляет параллельное выполнение перебора.

ParallelLoopResult result = Parallel.ForEach<int>(

new List<int>() { 1, 3, 5, 8 },

Square

);

// вычисляем квадрат числа

void Square(int n)

{

Console.WriteLine($"Выполняется задача {Task.CurrentId}");

Console.WriteLine($"Квадрат числа {n} равен {n \* n}");

Thread.Sleep(2000);

}

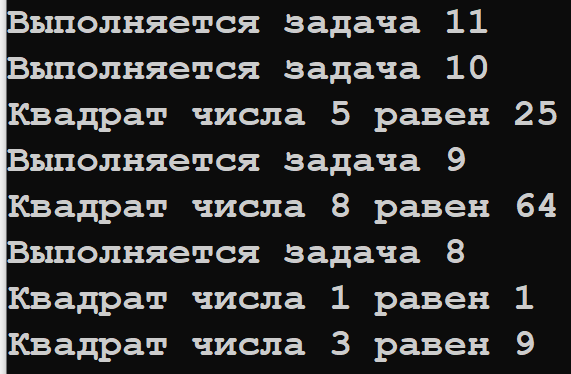


Рисунок 6 – Параллельный расчет квадратов чисел  
в цикле foreach

**Выход из цикла.**

В стандартных циклах for и foreach предусмотрен преждевременный выход из цикла с помощью оператора **break**. В методах Parallel.ForEach и Parallel.For мы также можем, не дожидаясь окончания цикла, выйти из него:

ParallelLoopResult result = Parallel.For(1, 25, Square);

if (!result.IsCompleted)

Console.WriteLine($"Выполнение цикла завершено на итерации {result.LowestBreakIteration}");

// вычисляем квадрат числа

void Square(int n, ParallelLoopState pls)

{

// если передано 5, выходим из цикла

if (n == 5) pls.Break();

Console.WriteLine($"Квадрат числа {n} равен {n \* n}");

Thread.Sleep(2000);

}

**Отмена задач.**

Параллельное выполнение задач может занимать много времени. И иногда может возникнуть необходимость прервать выполняемую задачу. Для этого платформа .NET предоставляет структуру **CancellationToken** из пространства имен System.Threading.

**Общий алгоритм отмены задачи** обычно предусматривает следующий порядок действий:

1. Создание объекта **CancellationTokenSource**, который управляет и посылает уведомление об отмене токену.
2. С помощью свойства **CancellationTokenSource.Token** получаем токен и передаем его в задачу, которая может быть отменена.
3. Определяем в задаче действия на случай ее отмены.
4. Вызываем метод **CancellationTokenSource.Cancel**(), который устанавливает для свойства **CancellationToken.IsCancellationRequested** значение true.
5. когда работа с объектом **CancellationTokenSource** завершена, у него следует вызвать метод **Dispose** для освобождения всех связанных с ним используемых ресурсов.

**Пример**.

CancellationTokenSource cancelTokenSource = new

CancellationTokenSource();

CancellationToken token = cancelTokenSource.Token;

Task task = new Task(() => // задача вычисляет квадраты чисел

{

for (int i = 1; i <= 10; i++)

{

if (token.IsCancellationRequested) // проверяем наличие сигнала отмены

{

Console.WriteLine("Операция прервана");

return; // выходим из метода и тем самым завершаем задачу

}

Console.WriteLine($"Квадрат числа {i} равен {i \* i}");

Thread.Sleep(200);

}

}, token);

task.Start();

Thread.Sleep(1000); // после задержки по времени отменяем выполнение задачи

cancelTokenSource.Cancel();

task.Wait(); // ожидаем завершения задачи

Console.WriteLine($"Task Status: {task.Status}"); // проверяем статус задачи

cancelTokenSource.Dispose(); // освобождаем ресурсы

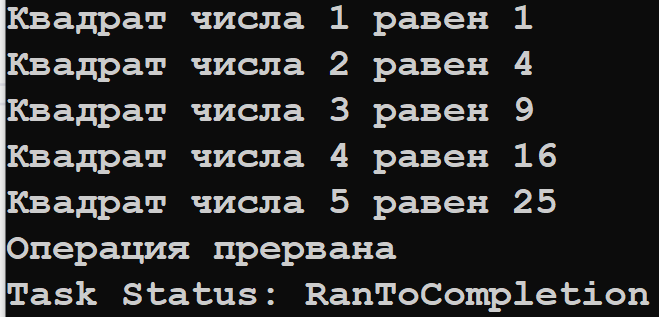


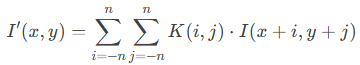
Рисунок 6 – Отмена параллельной задачи

**Работа с изображениями**

**Свёртка** – операция, при которой каждый пиксель изображения заменяется взвешенной суммой соседних пикселей. Веса задаются **ядром свёртки** (матрицей фильтра).

**Формула свёртки**

Для изображения **I** и ядра **K** размером (2n+1)×(2n+1) новое значение пикселя I'(x,y) вычисляется так:



где:

* I(x+i, y+j) – исходное значение пикселя с координатами (x+i, y+j),
* K(i,j) – значение ядра в позиции (i,j),
* Граничные пиксели обрабатываются особым образом (например, игнорируются или дополняются нулями).

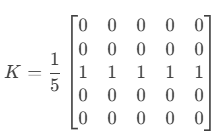
**Размытие в движении (Motion Blur)**

**Суть метода**: Имитация смазывания изображения при быстром движении камеры или объекта. Достигается за счёт **свёртки изображения с линейным (одномерным) ядром**, которое "размазывает" пиксели в заданном направлении.

**Ядро размытия**

Представляет собой **полосу** (линию) пикселей с одинаковыми коэффициентами, вытянутую в направлении движения.

**Пример ядра 5×5 для горизонтального размытия**:



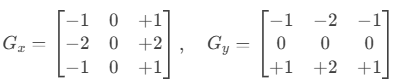
(размытие по горизонтали, длина = 5 пикселей)

**Выделение границ Собеля**

**Оператор Собеля** — это дискретный дифференциальный оператор, который вычисляет **градиент яркости** изображения в каждой точке, что позволяет находить границы объектов. Он основан на свёртке изображения с двумя ядрами: **Gx (горизонтальный градиент)** и **Gy (вертикальный градиент)**.

**Ядра Собеля**

Оператор использует два ядра 3×3:

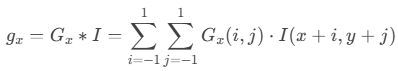


**Физический смысл**:

* **Gx** выделяет вертикальные границы (реагирует на изменения по оси X).
* **Gy** выделяет горизонтальные границы (реагирует на изменения по оси Y).

Для каждого пикселя изображения I(x,y)*I*(*x*,*y*) вычисляются:

**Горизонтальный градиент**:



**Вертикальный градиент**:



**Расчёт величины и направления градиента**

**Величина градиента** (сила границы):



**Направление градиента** (ориентация границы):



**Алгоритм работы**

1. **Свёртка изображения** с *Gx* и *Gy*.
2. **Вычисление *G*** для каждого пикселя – это карта границ.
3. **Пороговая обработка**: пиксели со значением *G*>*T* считаются границами.

**Контрастирование (линейное растяжение гистограммы)**

**Суть метода**: Преобразование яркости пикселей, при котором минимальная яркость изображения растягивается до 0, а максимальная — до 255 (для 8-битного изображения). Это увеличивает контрастность, особенно если исходное изображение имеет узкий диапазон яркостей.

**Математическая формула**

Для каждого пикселя с яркостью **V** новое значение **V'** вычисляется так:



где:

* **V\_min** – минимальная яркость на изображении,
* **V\_max** – максимальная яркость на изображении.

Если изображение цветное, преобразование применяется к **каждому каналу (R, G, B) отдельно** (либо к каналу яркости в моделях типа HSV).

**Масштабирование методом ближайшего соседа**

**Суть метода**: Увеличение или уменьшение изображения за счёт **дублирования** или **пропуска** пикселей без интерполяции.

**Как работает?**

**Увеличение (upscaling)**:

* + Каждый пиксель исходного изображения превращается в блок из N×N одинаковых пикселей.
  + Пример: Увеличение в 2 раза → каждый пиксель копируется в квадрат 2×2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A B  C D | => | A A B B  A A B B  C C D D  C C D D |

**Гамма-коррекция** — это нелинейное преобразование яркости пикселей, задаваемое **степенной функцией**. Она используется для:

* Коррекции восприятия яркости человеческим глазом (нелинейность зрения),
* Настройки контраста в тёмных/светлых областях,
* Подготовки изображений для разных устройств (мониторы, принтеры).

Формула. Преобразование для каждого пикселя (или канала RGB):



* Vin – входное значение яркости (нормализованное в диапазон [0, 1]),
* Vout – выходное значение,
* γ (гамма) — параметр коррекции:
  + γ<1 – осветление (компенсация для тёмных областей),
  + γ>1 – затемнение (компенсация для светлых областей).

**Итоговая формула:**



**Коррекция гистограммы (выравнивание гистограммы яркости)**

**Цель:** Равномерно распределить яркость изображения, чтобы улучшить контраст и детализацию, особенно в тёмных и светлых областях.

**Когда применять?**

* Изображения с **низким контрастом** (например, снятые в тумане).
* Перед **детектированием объектов** (улучшает границы).
* Для **медицинских изображений** (рентген, МРТ).

**Алгоритм:**

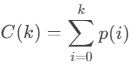
1. **Рассчитать гистограмму** — частоту встречаемости каждого уровня яркости (0–255 для 8-битного изображения).
2. **Нормированная гистограмма**:



где:

* nk — количество пикселей с яркостью k,
* N — общее число пикселей.

**Кумулятивная функция распределения (CDF)**:



**Преобразование яркости**: находим новое значение яркости для всех пикселей с исходным уровнем k



**Задание на лабораторную работу**

1. Необходимо разработать графическое приложение для многопоточной обработки больших массивов данных.
2. Программа должна быть загружена в GitHub репозиторий.
3. Обработать изображения в однопоточном и многопоточном режиме, сравнить производительность.
4. Защита работы включает демонстрацию работы программы. Для успешной защиты:

* программа должна быть задокументирована с помощью комментариев,
* код программы не должен содержать не используемые блоки, должен быть «чистым» и стилистически верно оформлен,
* интерфейс программы должен быть гибким и удобным.

**Варианты заданий на лабораторную работу**

1. Инверсия цветов изображения – вычесть каждый компонент (R,G,B) из 255
2. Перевод в градации серого – вычисление Y = 0.299*R + 0.587*G + *0.114*B
3. Размытие по Гауссу – свёртка с ядром Гаусса 5x5 или 3x3
4. Поворот на 90 градусов – перестановка пикселей с преобразованием координат
5. Зеркальное отражение по горизонтали – перестановка столбцов матрицы пикселей
6. Повышение резкости – свёртка с ядром резкости [[-1,-1,-1],[-1,9,-1],[-1,-1,-1]]
7. Сепия-фильтр – преобразование цветов по формулам newR = 0.393*R + 0.769*G + *0.189*B
8. Бинаризация по порогу – если яркость > порога -> белый, иначе черный
9. Медианный фильтр – замена пикселя медианой из окрестности 3x3
10. Яркостная коррекция – умножение всех компонентов на коэффициент яркости
11. Контрастирование – линейное растяжение гистограммы
12. Свёртка с произвольным ядром – поэлементное умножение и суммирование с ядром
13. Масштабирование методом ближайшего соседа – дублирование/удаление пикселей
14. Размытие в движении – свёртка с линейным ядром в одном направлении
15. Выделение границ Собеля – применение операторов Собеля Gx и Gy
16. Эрозия бинарного изображения – минимум в окрестности 3x3
17. Дилатация бинарного изображения – максимум в окрестности 3x3
18. Гамма-коррекция – применение степенной функции Vout = Vin^gamma
19. Наложение шума – добавление случайного значения к компонентам
20. Альфа-смешение двух изображений – I = α*A + (1-α)*B
21. Коррекция гистограммы – выравнивание гистограммы яркости
22. Тиснение (emboss) – свёртка с ядром [[-2,-1,0],[-1,1,1],[0,1,2]]
23. Акварельный фильтр – комбинация размытия и повышения насыщенности
24. Пикселизация изображения – усреднение цветов в блоках NxN
25. Цветовая инверсия отдельных каналов – инверсия только R, G или B канала
26. Коррекция баланса белого – масштабирование каналов по коэффициентам
27. Фильтр "теплые тона" – усиление красного и желтого каналов
28. Фильтр "холодные тона" – усиление синего и голубого каналов
29. Фильтр "Холодная сталь"

newR = 0.272 \* R + 0.534 \* G + 0.131 \* B

newG = 0.349 \* R + 0.686 \* G + 0.168 \* B

newB = 0.393 \* R + 0.769 \* G + 0.189 \* B + 30

1. Фильтр "Старая фотография"

newR = 0.8R + 0.1G + 0.1B + 10N

newG = 0.6R + 0.3G + 0.1B + 8N

newB = 0.4R + 0.2G + 0.4B + 5N

N — случайное число от -0.5 до 0.5 (для имитации зернистости).

**Пример разработки приложения**

Составим программу для многопоточного сложения матриц. Архитектура решения

Класс Matrix

Основной класс, инкапсулирующий данные и операции с матрицами:

1. **Поля и свойства**:
   * \_data - двумерный массив для хранения элементов матрицы
   * Rows и Columns - свойства, возвращающие размеры матрицы
2. **Конструкторы**:
   * Создание матрицы заданного размера
   * Создание матрицы из существующего массива
3. **Индексатор**:
   * Обеспечивает доступ к элементам матрицы через синтаксис matrix[i,j]

Основные методы

AddParallel - многопоточное сложение матриц

**Алгоритм работы**:

1. Проверка входных параметров (размеры матриц должны совпадать)
2. Создание результирующей матрицы
3. Разделение работы между потоками:
   * Вычисление количества строк для каждой задачи
   * Учет остатка при неравномерном распределении
4. Создание и запуск задач с помощью Task.Run
5. Ожидание завершения всех задач через Task.WaitAll

Матрица делится по строкам между задачами. Например, для матрицы из 100 строк и 4 задач:

* Задача 1: строки 0-24
* Задача 2: строки 25-49
* Задача 3: строки 50-74
* Задача 4: строки 75-99

using System;

using System.Threading.Tasks;

namespace MatrixOperations;

/// <summary>

/// Представляет двумерную матрицу и операции над ней

/// </summary>

public class Matrix

{

    private readonly double[,] \_data;

    public int Rows { get; }

    public int Columns { get; }

    public Matrix(int rows, int columns)

    {

        if (rows <= 0 || columns <= 0)

            throw new ArgumentException("Размеры матрицы должны быть положительными числами");

        Rows = rows;

        Columns = columns;

        \_data = new double[rows, columns];

    }

    public Matrix(double[,] data) : this(data.GetLength(0), data.GetLength(1))

    {

        Array.Copy(data, \_data, data.Length);

    }

    public double this[int row, int col]

    {

        get => \_data[row, col];

        set => \_data[row, col] = value;

    }

    /// <summary>

    /// Складывает две матрицы многопоточно

    /// </summary>

    public static Matrix AddParallel(Matrix a, Matrix b, int numberOfTasks)

    {

        if (a == null || b == null)

            throw new ArgumentNullException("Матрицы не могут быть null");

        if (a.Rows != b.Rows || a.Columns != b.Columns)

            throw new ArgumentException("Размеры матриц должны совпадать");

        var result = new Matrix(a.Rows, a.Columns);

        // Определяем количество строк на задачу

        int rowsPerTask = a.Rows / numberOfTasks;

        int remainingRows = a.Rows % numberOfTasks;

        var tasks = new Task[numberOfTasks];

        int currentRow = 0;

        for (int i = 0; i < numberOfTasks; i++)

        {

            int taskRows = rowsPerTask + (i < remainingRows ? 1 : 0);

            if (taskRows == 0) continue;

            int startRow = currentRow;

            int endRow = startRow + taskRows;

            tasks[i] = Task.Run(() => AddRows(a, b, result, startRow, endRow));

            currentRow = endRow;

        }

        Task.WaitAll(tasks);

        return result;

    }

    public static void AddRows(Matrix a, Matrix b, Matrix result, int startRow, int endRow)

    {

        for (int i = startRow; i < endRow; i++)

        {

            for (int j = 0; j < a.Columns; j++)

            {

                result[i, j] = a[i, j] + b[i, j];

            }

        }

    }

    /// <summary>

    /// Создает матрицу с случайными значениями

    /// </summary>

    public static Matrix CreateRandom(int rows, int columns, Random random, double minValue = 0, double maxValue = 1)

    {

        var matrix = new Matrix(rows, columns);

        for (int i = 0; i < rows; i++)

        {

            for (int j = 0; j < columns; j++)

            {

                matrix[i, j] = random.NextDouble() \* (maxValue - minValue) + minValue;

            }

        }

        return matrix;

    }

    public override string ToString()

    {

        var sb = new System.Text.StringBuilder();

        for (int i = 0; i < Rows; i++)

        {

            for (int j = 0; j < Columns; j++)

            {

                sb.Append($"{\_data[i, j]:F2}\t");

            }

            sb.AppendLine();

        }

        return sb.ToString();

    }

}

Напишем класс Program, который представляет собой точку входа в программу. Выполним примеры расчёта.

public class Program

{

    public static void Main()

    {

        const int rows = 1000;

        const int columns = 1000;

        const int numberOfTasks = 4;

        var random = new Random();

        Console.WriteLine("Создание матриц...");

        var matrixA = Matrix.CreateRandom(rows, columns, random);

        var matrixB = Matrix.CreateRandom(rows, columns, random);

        Console.WriteLine("Многопоточное сложение...");

        var stopwatch = System.Diagnostics.Stopwatch.StartNew();

        var resultParallel = Matrix.AddParallel(matrixA, matrixB, numberOfTasks);

        stopwatch.Stop();

        Console.WriteLine($"Многопоточное сложение заняло {stopwatch.ElapsedMilliseconds} мс");

        // Для проверки корректности можно добавить последовательное сложение

        Console.WriteLine("Проверка корректности...");

        stopwatch.Restart();

        var resultSequential = new Matrix(rows, columns);

        Matrix.AddRows(matrixA, matrixB, resultSequential, 0, rows);

        stopwatch.Stop();

        Console.WriteLine($"Последовательное сложение заняло {stopwatch.ElapsedMilliseconds} мс");

        // Проверка что результаты совпадают

        bool correct = true;

        for (int i = 0; i < rows; i++)

        {

            for (int j = 0; j < columns; j++)

            {

                if (Math.Abs(resultParallel[i, j] - resultSequential[i, j]) > 1e-10)

                {

                    correct = false;

                    break;

                }

            }

            if (!correct) break;

        }

        Console.WriteLine($"Результаты {(correct ? "совпадают" : "не совпадают")}");

    }

}

# Содержание пояснительной записки

1. Постановка задачи. Приводится теоретический материал, использованный при написании приложения.

2. Формулировка задания и вариант. Приводится задание на лабораторную работу и вариант этого задания.

3. Описание выполняемых действий. Необходимо привести описание последовательности разработки программы, реализации используемых методов, алгоритмов, блок-схем.

4. Анализ результатов. Привести анализ входных и выходных данных. Показать результаты выполнения программного кода. Предоставить скриншоты обработки тестовых примеров. Сделать выводы.

5. Листинг программы. Привести листинг разработанного программного кода, содержание файлов входных и выходных данных.

# Используемое программное обеспечение

1. Среда программирования MS Visual Studio Community 2022 (Свободно распространяемое программное обеспечение (в учебных целях));
2. Microsoft Office Standard 2007 (Open License: 42267924);
3. Open Office (Свободно распространяемое программное обеспечение).
4. Браузер (Свободно распространяемое программное обеспечение).

# Список литературы

* + - 1. Мейер Б. Объектно-ориентированное программирование и программная инженерия [Электронный ресурс]/ Мейер Б. – Электрон. текстовые данные. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. – 285 c.
      2. Биллиг, В. A. Основы объектного программирования на С# (C# 3.0, Visual Studio 2008) [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. A. Биллиг. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Саратов : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Вузовское образование, 2017. — 583 c. — 978-5-4487-0145-0. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/72339.html
      3. Павловская, Т. А. Программирование на языке высокого уровня C# [Электронный ресурс] / Т. А. Павловская. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М. : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. — 245 c. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/73713.html
      4. Агапов, В. П. Основы программирования на языке С# [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Агапов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 128 c. — 978-5-7264-0576-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16366.html
      5. Медведев, М. А. Программирование на СИ# [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. А. Медведев, А. Н. Медведев ; под ред. А. В. Присяжный. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 64 c. — 978-5-7996-1561-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/69667.html
      6. Казанский А.А. Объектно-ориентированное программирование на языке Microsoft Visual С# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2008 и .NET Framework. 4.3 [Электронный ресурс]: учебное пособие и практикум/ Казанский А.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2011.— 180 c
      7. Уйманова Н.А. Основы объектно-ориентированного программирования [Электронный ресурс]: практикум/ Уйманова Н.А., Таспаева М.Г.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017.— 156 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/78808.html.— ЭБС «IPRbooks»
      8. Новиков П.В. Объектно-ориентированное программирование [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие к лабораторным работам/ Новиков П.В.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2017.— 124 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64650.html.— ЭБС «IPRbooks»