**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

**Кафедра информационных систем управления**

**Отчет**

**о прохождении преддипломной практики**

Ждановича Павла Александровича

студента 4 курса,

специальность «информатика»

Руководитель практики:

ст. преподаватель кафедры ИСУ,

Конах Валентина Владимировна

Минск, 2019

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 3**

**ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ 4**

1.1 Постановка задачи 4

1.2 Существующие технологии применяемые в Web-клиентах 4

1.3 Платформа .NET 8

1.4 Blazor 9

**ГЛАВА 2. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ 12**

2.1Создание дополнительных Blazor-компонентов 13

2.2Сравнительный анализ скорости вычислений 14

2.3Сравнительный анализ накладных расходов при вызовах между средами выполнения 17

2.4Сравнительный анализ скорости преобразования данных при передаче между средами выполнения 18

2.5Сравнительный анализ скорости работы с DOM-деревом в WEB-браузере 20

2.6Результаты тестов производительности 21

2.7Направления для дальнейших исследований 21

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 22**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 23**

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день компьютерные приложения решают большой спектр производственных задач: позволяют повысить производительность труда, облегчить документооборот на предприятиях, а также в некоторых случаях избежать человеческого фактора и повысить стабильность работы предприятия.

Огромную нишу среди компьютерных приложений занимают Web-приложения, они решают колоссальный круг задач. Web-приложения состоят из двух основных частей: клиентской и серверной. В современном мире наблюдается бурный рост количества технологий и подходов для клиентской части, однако остается не решенными еще множество проблем в разработке клиентской части в том числе проблема дублирования и кода, низкой возможности для переиспользования кода, а так же проблемы с отладкой и юнит-тестированием.

Попыткой решить множество проблем разработки клиентских приложения является технология WebAssembly позволяющая расширить возможности разработчиков. На базе WebAssembly пояляются многоие решения, одному из них фреймворку Blazor и посвящена данная работа. Blazor является SPA-фрейворком на технологии .NET. Для его работы в браузере он предоставляет скомпилированный в WebAssembly .NET runtime, однако подобное решение чревато проблемами в производительности.

В данной работе тестируется производительность фреймворка Blazor и делаются выводы о его пригодности для создания новых проектов.

**ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ**

**1.1** **Постановка задачи**

Цель работы: сравнительный анализ производительности фреймворка Blazor и разработка демонстрационного приложения на этой технологии

Задачами данной работы являются:

* Ознакомление с исследуемыми технологиями.
* Изучение документации исследуемых технологий
* Разработка тестов производительности
* Тестирование производительности Blazor и сравнительных анализ с другими технологиями
* Разработка демонстрационного приложения

**1.2 Существующее технологии, применяемые в Web-клиентах**

Одним из направлений развития Web-приложений стало размещение некоторой части логики приложения (такой как проверка корректности вводимых данных) в самом Web-клиенте, например в Web-браузере. В частности, современные Web-браузеры способны интерпретировать код на скриптовых языках, выполнять Java-апплеты и элементы управления ActiveX, использовать другие дополнения, такие как Macromedia Flash Player. Рассмотрим все эти возможности браузеров подробнее.

**Скриптовые языки.** Большинство современных Web-браузеров способно интерпретировать код на скриптовых языках, таких как VBScript и JavaScript. Код на этих языках внедряется в Web-страницу и интерпретируется браузером. Типичный пример применения скриптовых языков — проверка корректности данных, вводимых пользователем в соответствующие поля HTML-формы, непосредственно в процессе ввода или после него, без обращения к Web-серверу. Подобные примеры применения скриптовых языков можно обнаружить при заполнении некоторых анкет и получении сообщений о том, что не заполнены обязательные поля (справедливости ради отметим, что далеко не все анкеты реализованы подобным образом).

Однако есть и другие примеры применения скриптовых языков, реализующие как чисто дизайнерские идеи, например кнопки, меняющие свой вид при наведении на них курсора, «бегущие строки», так и иную функциональность, например внедренные в Web-страницы средства обращения к поисковым системам, отображение диалоговых панелей, управление другими объектами, встроенными в Web-страницу (например, Java-апплетами или элементами управления ActiveX, о которых будет рассказано ниже).

Стоит отметить, что код, созданный с помощью скриптовых языков, не может работать самостоятельно — он выполняется в адресном пространстве браузера. Кроме того, скриптовые языки содержат ограниченный набор средств (например, они не обладают средствами доступа к файловой системе).

**Java-апплеты.** Практически все современные браузеры способны отображать и выполнять Java-апплеты — специальные Java-приложения, которые пользователь получает в составе Web-страницы. Эти приложения нередко включаются в состав Web-страниц с целью добавления функциональности, которую сложно или невозможно реализовать с помощью скриптовых языков. Апплеты могут выполняться на всех платформах, для которых доступна виртуальная Java-машина.

Апплеты обычно создаются в соответствии с правилами, оговаривающими период их жизни и способы взаимодействия со своим окружением. Чаще всего эти способы весьма ограниченны (например, такие операции, как считывание и запись файлов, по умолчанию для апплетов запрещены; если же подобные операции необходимы, разрешения на их выполнение для конкретных апплетов и конкретных файлов описываются на клиентском компьютере; сетевой доступ из апплета возможен только к тому компьютеру, с которого он был загружен; запуск других приложений на компьютере пользователя из апплетов невозможен). Однако апплет способен считывать значения параметров (например, цвета, шрифтов, файлов с графическими изображениями, используемыми при выполнении апплета) с содержащей его Web-страницы и в соответствии с этими параметрами изменять свое поведение. Кроме того, параметры апплета можно менять динамически из кода на скриптовых языках, содержащихся в составе той же страницы.

Стоит отметить, что, поскольку апплеты реализуют выполнение кода на компьютере клиента, они в определенной степени являются потенциально опасным содержимым. Именно поэтому все современные браузеры обладают доступными пользователю средствами ограничения возможностей выполнения апплетов.

**Элементы управления ActiveX.** Некоторые из современных браузеров (в частности, Microsoft Internet Explorer) могут служить контейнерами для элементов управления ActiveX — специальных COM-серверов, выполняющихся в адресном пространстве браузера и также получаемых в составе Web-страницы.

С помощью элементов управления ActiveX, как и посредством Java-апплетов, можно реализовать любую функциональность, в том числе и неблагоприятную для компьютера пользователя, при этом, в отличие от Java-апплетов, при выполнении элементов управления ActiveX в общем случае нет никаких ограничений на доступ к файлам и иным ресурсам операционной системы и сети, а код, содержащийся в них, выполняется от имени загрузившего их пользователя. Как и Java-апплеты, элементы управления ActiveX могут считывать свои свойства с содержащей их страницы; кроме того, свойства элемента управления ActiveX можно менять динамически из кода на скриптовых языках, содержащихся в составе той же страницы; в том же коде можно обрабатывать события, возникающие в таких элементах управления.

Естественно, Microsoft Internet Explorer обладает средствами ограничения возможностей выполнения элементов управления ActiveX, в том числе управления ими из кода на скриптовых языках. Однако для контроля безопасности их выполнения имеется еще одно средство, называемое электронной цифровой подписью. Цифровая подпись помещается внутрь элемента управления ActiveX, для чего требуется наличие соответствующего электронного сертификата. Электронная подпись, помимо сведений о фирме-производителе, содержит и другую полезную информацию. Так, например, если файл с элементом управления ActiveX после добавления электронной подписи был изменен, то об этом будет немедленно сообщено перед запуском такого элемента управления — при добавлении подписи к элементу управления ActiveX происходит вычисление контрольной суммы соответствующего файла. Отметим, однако, что в России в настоящее время нет авторизованных компаний, которые могли бы выдать электронный сертификат международного образца. Естественно, наличие электронного сертификата не гарантирует отсутствия потенциально опасного содержимого, но, по крайней мере, позволяет клиенту установить его источник.

Далее нам следует напомнить банальную истину, которая, как показывает практика, очевидна не для всех наших читателей. При работе с элементами управления ActiveX и Java-апплетами абсолютно бесполезно полагаться на антивирусное программное обеспечение (неважно, клиентское оно или серверное): признаков, характерных для вирусов (таких как способность внедряться внутрь исполняемых файлов и документов), подобные приложения, как правило, не содержат. Можно лишь запретить загрузку или выполнение соответствующего кода либо на уровне настроек браузера, либо на уровне корпоративных или персональных брандмауэров.

**Приложения Macromedia Flash.** Приложения Macromedia Flash являются сегодня наиболее популярным расширением функциональности Web-браузеров — с их помощью многие Web-дизайнеры придают своим сайтам интерактивность и оригинальность.

Модель безопасности приложений Flash основана на том, что Macromedia Flash Player, как и виртуальная Java-машина, выполняет приложения в ограниченном адресном пространстве, при этом выполняемые приложения не имеют доступа к файловой системе (кроме одного конкретного каталога, используемого Macromedia Flash Player для служебных целей) и другим ресурсам компьютера пользователя; исключение делается для микрофонов и видеокамер, однако пользователь должен дать разрешение на передачу данных, полученных с этих устройств. Доступ к сетевым ресурсам ограничивается доменом, с которого было получено приложение. Отметим, что приложения Flash также могут управляться с помощью кода JavaScript, присутствующего на той же странице. Сам Macromedia Flash Player для Microsoft Internet Explorer является элементом управления ActiveX и использует возможности элементов управления ActiveX для доступа к свойствам приложений Flash из скриптовых языков.

Стоит отметить, что помимо вышеперечисленных наиболее популярных средств расширения функциональности браузеров имеется и ряд других средств, реализованных обычно в виде так называемых модулей расширения (plug-in). Поскольку модули расширения также представляют собой исполняемый код, современные браузеры обладают средствами ограничения возможностей, связанных с их загрузкой и выполнением.

В заключение стоит отметить, что перечисленные средства расширения функциональности HTML-страниц могут быть использованы и в динамических страницах, генерируемых серверными Web-приложениями. Так, в последнее время широкое распространение приобрели средства создания Web-приложений, выполняющихся под управлением Web-серверов и генерирующих динамические HTML-страницы с внедренным в них кодом на скриптовых языках, предназначенным для интерпретации браузером.

**WebAssembly.** WebAssembly оказывает огромное влияние на веб-платформу — он предоставляет способ исполнения кода, написанного на различных языках, в сети, со скоростью близкой к нативной, чего ранее невозможно было достичь.

WebAssembly разработан для дополнения JavaScript – используя WebAssembly JavaScript API вы можете загружать модули WebAssembly в приложения JavaScript и обеспечивать взаимодействие между ними, используя общие функции. Такой подход позволяет вам получить производительность и мощность WebAssembly, а также выразительность и гибкость JavaScript в ваших приложениях, даже если вы не знаете как писать код WebAssembly, а используете готовые модули.

Наиболее премечательно здесь то, что WebAssembly разрабатывается как веб-стандарт W3C WebAssembly Working Group и Community Group при активном участии основных производителей браузеров.

**1.3 Платформа .NET**

.NET - это платформа, которая была первоначально создана для создания сетевых приложений. Язык C# был создан специально для работы с фреймворком .NET, однако само понятие .NET несколько шире. Можно выделить следующие ее основные черты:

**Поддержка нескольких языков.** Основой платформы является общеязыковая среда исполнения Common Language Runtime (CLR), благодаря чему .NET поддерживает несколько языков: наряду с C# это также VB.NET, C++, F#, а также различные диалекты других языков, привязанные к .NET, например, Delphi.NET. При компиляции код на любом из этих языков компилируется в сборку на общем языке CIL (Common Intermediate Language) - своего рода ассемблер платформы .NET. Поэтому мы можем сделать отдельные модули одного приложения на отдельных языках.

**Кроссплатформенность.** .NET является переносимой платформой (с некоторыми ограничениями). Например, последняя версия платформы на данный момент .NET Framework поддерживается на большинстве современных ОС Windows (Windows 10/8.1/8/7/Vista). А благодаря проектам Mono и .NET Core можно создавать приложения, которые будут работать и на других ОС семейства Linux, в том числе на мобильных платформах Android и iOS.

**Мощная библиотека классов.** .NET представляет единую для всех поддерживаемых языков библиотеку классов. И какое бы приложение мы не собирались писать на C# - текстовый редактор, чат или сложный веб-сайт - так или иначе мы задействуем библиотеку классов .NET.

**Разнообразие технологий.** Общеязыковая среда исполнения CLR и базовая библиотека классов являются основой для целого стека технологий, которые разработчики могут задействовать при построении тех или иных приложений. Например, для работы с базами данных в этом стеке технологий предназначена технология ADO.NET. Для построения графических приложений с богатым насыщенным интерфейсом - технология WPF. Для создания веб-сайтов - ASP.NET и т. д.

**Автоматическая сборка мусора.** Также еще следует отметить такую особенность языка C# и фреймворка .NET, как автоматическая сборка мусора. А это значит, что нам в большинстве случаев не придется, в отличие от С++, заботиться об освобождении памяти. Вышеупомянутая общеязыковая среда CLR сама вызовет сборщик мусора и очистит память.

**Совмещение управляемого и неуправляемого кода.** Нередко приложение, созданное на C#, называют управляемым кодом (managed code). Что это значит? А это значит, что данное приложение создано на основе платформы .NET и поэтому управляется общеязыковой средой CLR, которая загружает приложение и при необходимости очищает память. Но есть также приложения, например, созданные на языке С++, которые компилируются не в общий язык CIL, как C# или VB.NET, а в обычный машинный код. В этом случае .NET не управляет приложением. В то же время платформа .NET предоставляет возможности для взаимодействия с неуправляемым кодом. Мы наряду со стандартными классами библиотеки .NET можем также использовать сборки COM.

**JIT-компиляция.** Код на C# компилируется в приложения или сборки с расширениями exe или dll на языке CIL. Далее при запуске на выполнение подобного приложения происходит JIT-компиляция (Just-In-Time) в машинный код, который затем выполняется. При этом, поскольку наше приложение может быть большим и содержать кучу инструкций, в текущий момент времени будет компилироваться лишь та часть приложения, к которой непосредственно идет обращение. Если мы обратимся к другой части кода, то она будет скомпилирована из CIL в машинный код. При том уже скомпилированная часть приложения сохраняется до завершения работы программы. В итоге это повышает производительность.

**1.4 Blazor**

Blazor — это экспериментальный .NET фреймворк использующий C#/Razor и HTML, который работает в браузере с помощью WebAssembly. Blazor предоставляет все преимущества создания .NET приложений на клиенте и, при необходимости, на сервере.

За последние годы веб-разработка во многих отношениях улучшилась, но создание современных веб-приложений по-прежнему не простая задача. Использование .NET в браузере дает много преимуществ, которые могут помочь сделать веб-разработку проще и продуктивнее:

* Стабильность и согласованность: .NET обеспечивает стандартизированные рамки программирования на всех платформах, они являются стабильными, многофункциональными и простыми в использовании.
* Современные инновационные языки: Языки .NET постоянно совершенствуются добавляя новые инновационные функции.
* Лучшие инструменты в отрасли: Семейство продуктов Visual Studio обеспечивает фантастическую разработку используя .NET на всех платформах в Windows, Linux и MacOS.
* Скорость и масштабируемость: .NET имеет сильную историю производительности, надежности и безопасности для разработки приложений. Использование .NET в качестве решения для full-stack разработки упрощает создание быстрых, надежных и безопасных приложений.
* Full-stack разработка, которая использует существующие навыки и наработки: Разработчики C#/Razor используют их C#/Razor навыки и наработки для написания клиентских приложений и логики обмена данных с сервером.
* Широкая поддержка браузеров: Blazor работает на .NET с использованием открытых веб-стандартов в браузере, без плагинов и без перекодирования кода. Он работает во всех современных веб-браузерах, включая мобильные.

Выполнение .NET-кода внутри веб-браузеров стало возможным благодаря относительно новой технологии, WebAssembly (сокращенно wasm). WebAssembly является открытым веб-стандартом и поддерживается в веб-браузерах без плагинов. WebAssembly - это компактный формат байт-кода, оптимизированный для быстрой загрузки и максимальной скорости выполнения.

Код WebAssembly позволяет получить доступ ко всем функциям браузера через интерфейс JavaScript. В то же время код WebAssembly работает в той же доверенной изолированной среде, что и JavaScript, для предотвращения вредоносных действий на клиентской машине.

Когда приложение Blazor создается и запускается в браузере:

1. Файлы C# кода и файлы Razor скомпилированы в .NET сборки.
2. Сборки и среда выполнения .NET загружаются в браузер.
3. Blazor использует JavaScript для загрузки среды выполнения .NET и настраивает среду выполнения для загрузки необходимых ссылок на сборку. Обработка объектной модели документа (DOM) и вызовы API браузера обрабатываются исполняемой средой Blazor с помощью JavaScript функционала.

Для поддержки старых браузеров, которые не поддерживают WebAssembly, Blazor использует asm.js на основе .NET.

Приложения Blazor создаются с помощью компонентов. Компонент это кусок пользовательского интерфейса (UI), например страница, диалог или форма ввода данных. Компоненты могут быть вложенными, повторно использованными и разделяемыми между несколькими проектами.

В Blazor, компонент это .NET класс. Класс может быть написан непосредственно, как C# класс (\*.cs), или чаще в виде страницы разметки Razor (\*.cshtml).

Razor является синтаксисом для комбинирования разметки HTML с кодом C#. Razor разработан для повышения продуктивности разработчиков, позволяя разработчику переключаться между разметкой и C# кодом в том же файле с помощью поддержки IntelliSence.

Компоненты могут быть:

* Вложенными.
* Созданными с помощью Razor (\*.cshtml) или кода C# (\*.cs).
* Общими для библиотеки классов.
* Для юнит-тестирования без необходимости использования DOM-браузера.

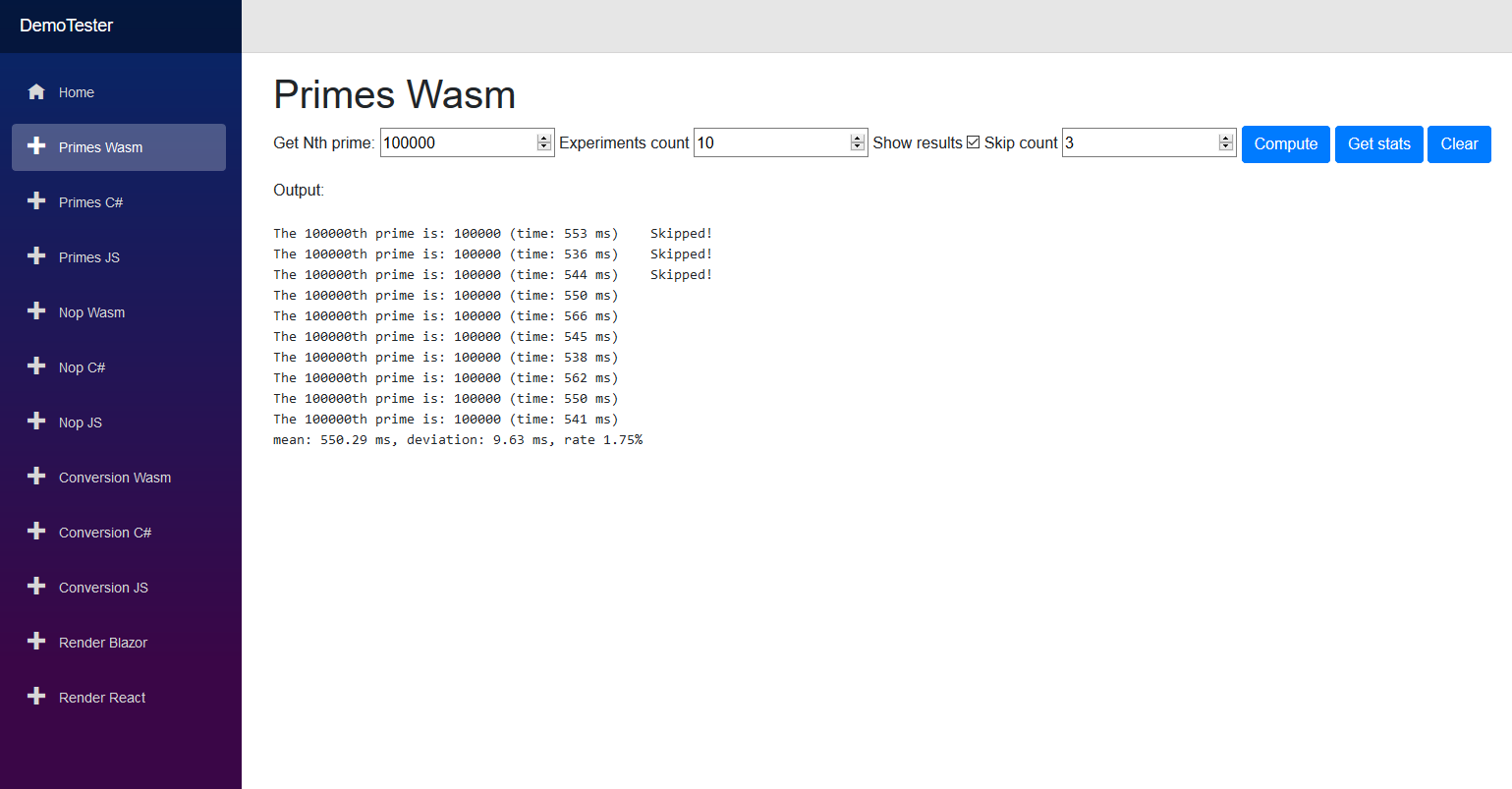
**ГЛАВА 2. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ**

Для анализа характеристик приложения были проведены несколько тестов производительности:

* Тест скорости вычислений.
* Тест накладных расходов при вызовах между средами выполнения.
* Тест скорости преобразования данных при передаче между средами исполнения.
* Тест скорости работы с DOM-деревом в WEB-браузере.

Также было построенно демонстрационное приложение, позволяющее быстро запускать тесты и получать наглядные данные. В процессе его создания было создано несколько Blazor-компонентов которые могут быть переиспользованны в других проектах. Подробнее о созданных компонентах см. в следующем разделе.

Демонстрационное приложение содержит несколько однообразных вкладок с тестами позволяющих запускать их с разными параметрами и варьировать результаты его работы. Подробнее о работе с тестами см. в описании компонента PerformanceTester в следующем разделе.



**Рисунок 1. Интерфейс демонстрационного приложения**

**2.1 Создание дополнительных Blazor-компонентов**

В процессе реализации демонстрационного приложения было создано несколько дополнительных компонентов пользовательского интерфейса, которые могут быть переиспользованны в других проектах. Компоненты легко мигрируются из проекта в проект, достаточно перенести файл с кодом компонента (\*.cshtml), который содержит разметку и логику компонента. Если компонент использует другие компоненты, то необходимо так же перенести их .cshtml файлы. А далее его можно использовать в любом желаемом компоненте или странице. Так же можно использовать nuget-пакеты для упрощения подключеня компонентов к другим проектам.

**Компонент PerformanceTester**

Для обобщения реализации страниц с тестами производительности был создан компонент PerformanceTester. Он упрощает реализацию теста, имеет параметр "Action", который получает исполняемый делегат (указатель на функцию).  
  
Данный компонент отображает различные опции для запуска теста:

* количество запусков
* передаваемый аргумент
* количество пропущенных запусков для повышения точности (из-за "прогрева" кэша)
* включение/отключение подробностей по каждому запуску (время выполнения каждого конкретного запуска)

Так же содержит два режима запуска тестов:

* Одиночный запуск - запуск серии тестов с заданным аргуметом
* Многократный запуск - множество запусков с постепенным увеличением аргумента

Многократный запуск выдает данные удобные для построения графиков. Дополнительно присутствует кнопка для отчистки очета о запусках. На данном компоненте базируются все страцицы запускающие тесты.

**Компонент ReactRenderer**

Компонент ReactRenderer был создан для упрощения включения в Blazor-приложения разметки сгенерированной библиотекой react он принимает в себя JavaSctipt функцию генерирующую ReactElement и её аргументы, и создает DOM-element с уникальным идентификатором, а далее вызывается функция React.render принимающая сгенерированный ReactElement и идентификатор контейнера, которая отображает разметку на странице.

**Компоненты BlazorButton, BlazorInput, BlazorPanel**

Для упрощения разработки пользовательского интерфеса были разработаны компоненты BlazorButton, BlazorInput, BlazorPanel. Компоненты BlazorButton и BlazorInput, являются обертками над html-элементами input и button дополненые средствами локализации и стилизации. BlazorPanel является панелью с заголовком по нажатию на который её содержимое "складывается" в заголовок. Этот компонент так же поддерживает локализацию и стилизацию. Параметры стилей и локализации могут быть переданы либо через DI-сервис, либо через каскадные параметры Blazor - это позволяет задавать глобальные стили в рамках всего приложения и переопределять их на части приложения (например в определенном окне через каскадные параметры.

**2.2 Сравнительный анализ скорости вычислений**

Потребление ресурсов центрального процессора является одной из основных характеристик производительности наряду с потреблением ОЗУ. Исследование скорости вычислений позволит определить набор задач которые будут выполняться в клиентской части приложения за приемлемое время.

Для тестирования производительности возьмём простую вычислительную задачу и проведем серию запусков в различных средах исполнения с произведением замера времени выполнения. Далее вычислим среднее значение, которое и будем считать результатам измерений, а также среднеквадратичное отклонение для определения устойчивости результата.

Исследуемыми средами исполнения будут:

* Скриптовый движок браузера для JavaScript, для него будет написан скрип на этом языке.
* Среда выполнения Mono для браузера исполняющий .NET Standard сборки скомпилированные из исходных кодов на языке C#.
* WebAssembly-движок исполняющий предварительно скомпилированные .NET Standard сборки в поддерживаемый им байт-код.

Вычислительной задачей для проведения тестов будет "определения n-ого простого числа". Возьмем самый простой алгоритм решения этой задачи:

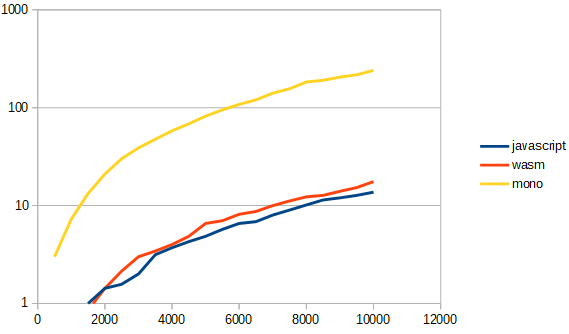
1. Установим значение счетчика равным 0
2. Будем проверять числа начиная с двойки на простоту
3. Увеличим счетчик если текущее число является простым
4. Если счетчик был увеличен и его значение равного номеру искомого числа, то текущее число является результатом, иначе проверяется следующее простое число.

Простые числа в свою очередь будут проверяться перебором делителей от двойки до квадратного корня от текущего числа. Этот предельно простой алгоритм позволит продемонстрировать разницу в скорости выполнения исследуемый средах.

В результате выполнения серии опытов были получены следующие результаты они отображены на рисунке 2.

Для порядкового номера 10000 были получены следующие результаты среднего значения времени выполнения:

* WebAssembly: 17.6 миллисекунды
* JavaScript: 13.7 миллисекунды
* Mono в режиме интерпретации: 240.6 миллисекунды



**Рисунок 2. График зависимости времени выполнения от порядкового номера**

Как видно режим интерпретации сборок работает медленнее порядка 20 раз (в 17.5 раз в данном тесте), однако предварительно скомпилированные сборки работают медленнее всего в 1.28 раза несмотря на то, что технически код для платформы WebAssembly должен решать аналогичные задачи быстрее кода на JavaScript.

Исследования производительности WebAssembly показывают, что аналогичный код исполняемый в движке JavaScript в среднем на 5-10% медленнее, чем аналогичный собранный для WebAssembly. Данные расхождения связанны с неэффективностью конвертации сборки в WebAssembly байт-код. Если же изначально писать код на языке С++ и скомпилировать его в WebAssembly то его скорость выполнения будет выше, чем у JavaScript. Был написан отдельный тест который показал среднее значение времени выполнения в 12.2 миллисекунды для аналогичного кода на С++ скомпилированного в WebAssembly байт-код.

Таким образом, выполнение ресурсоемких задач режим интерпретации Mono неприемлемо. Требуется предварительное парообразование сборки в WebAssembly байт-код и вызовы wasm-кода из кода работающего в режиме интерпретации. Скорость исполнения WebAssembly-сборок соизмерима со скоростью исполнение кода на языке JavaScript, что позволяет использовать данные фреймворк и язык C# как альтернативу, при условии что весь ресурсоемкий код будет скомпилирован в предварительно в формат WebAssembly байт-код.

Также было замечена важная особенность: первый запуск опыта всегда занимал значительно больше времени чем последующие. Это связано с тем, что первый запуск производит инициализацию исполняемого кода и выполняет JIT-компиляцию в машинный код, а уже последующие запуске используют скомпилированные версии кода. Поэтому для подсчета статистики среднего значения времени выполнения первые запуски опытов были скрещены чтобы исключить погрешность вызванная задержкой при первом запуске а также для выполнения прогрева кэша центрального процессора.

Также была замерена средняя задержка при первом запуске на разных платформах. Для кода в режиме интерпретации задержка была меньше 1 миллисекунды, что связано с только с "прогревом" кэша, так как подобный режим исполнения не требует сложной инициализации и компиляции.

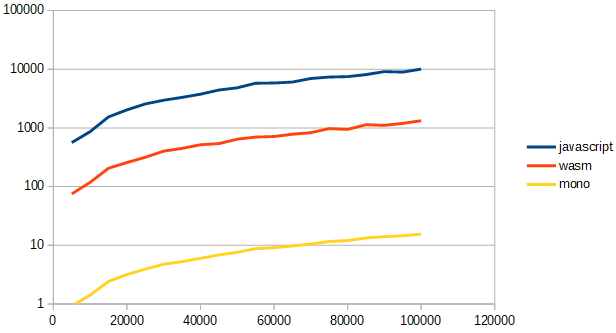
Для кода на JavaScript время инициализации составило в среднем 9 миллисекунд, а для WebAssembly в среднем 4 миллисекунды. Инициализация WebAssembly байт-кода занимает меньше времени, так как этот формат фактические является синтаксическим деревом кода программы и требует только компиляцию в машинный код. В свою очередь код на JavaScript является человекочитаемым и поэтому предварительно требует разбора (парсинга) и построения синтаксического дерева и далее компиляции в машинный код. Эти данные могут быть использованы при анализе времени отклика и "холодного" старта приложения.

В дальнейших опытах замеры времени инициализации приведены не будут, так как они аналогичны данным в этом опыте. В дальней тестах первые несколько запусков будут так же игнорироваться для повышения точности.

**2.3 Сравнительный анализ накладных расходов при вызовах между средами выполнения**

В данном опыте замеряется время вызова метода между средами выполнения. Между Mono и Mono, между Mono и WebAssembly и между Mono и JavaScript. Данный тест аналогичен предыдущему за исключением того что тела вычисляющего метода пусто.

В результате выполнения серии опытов были получены следующие результаты они отображены на рисунке 3.

****

**Рисунок 3. График зависимости времени выполнения от количества вызовов**

Количества вызовов в 100000 раз были получены следующие результаты среднего значения времени выполнения:

* WebAssembly: 1319.6 миллисекунды
* JavaScript: 9679.2 миллисекунды
* Mono в режиме интерпретации: 15.5 миллисекунды

Таким образом вызов внутри Mono происходит очень быстро, вызов в WebAssembly в 80 раз дольше чем внутри Mono, а вызов в JavaScript занимает в 630 раз больше чем внутри Mono.

**2.4 Сравнительный анализ скорости преобразования данных при передаче между средами выполнения**

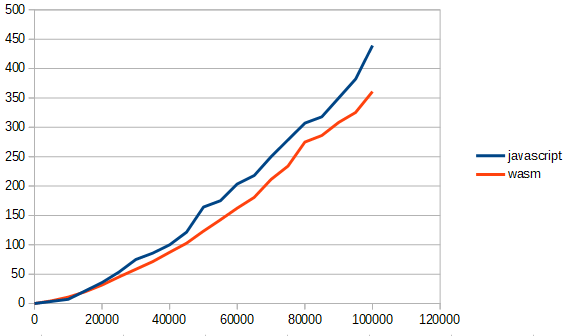
Результаты данного теста важны если часть ресурсоемкой логики приложения переноситься на другую среду исполнения. В данном тесте будет генерироваться древовидный объект на основе случайно сгенерированного дерева.

Случайное дерево генерируется следующим образом:

* Создается множество элементов
* Нулевой элемент считается корнем дерева
* Происходит последовательный обход всех элементов (с индекса 1)
* Выбирается случайный элемент с индексом меньше текущего
* Текущий элемент становиться дочерним для выбранного и происходит переход к следующему элементу

Далее сгенерированное дерево заполняется случаными данными в нашем случае одним полем-строкой фиксированной длинны. После этого происходит вызов метода в другой среде выполнения и который ничего не делает и возвращает управление и происходит замер времени выполнения этого вызова.

В результате выполнения серии опытов были получены следующие результаты они отображены на рисунке 4.



**Рисунок 4. График зависимости времени выполнения от количества элементов**

Для структуры размером в 100000 элементов были получены следующие результаты среднего значения времени выполнения:

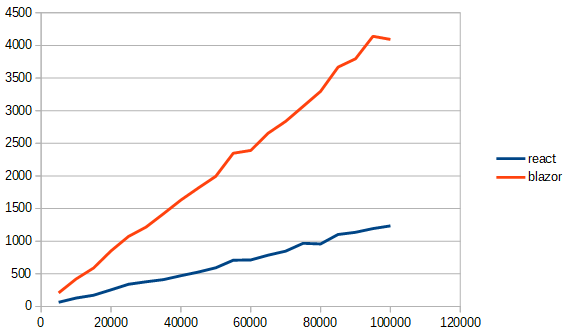
* Blazor → WebAssembly: 439.3 миллисекунды
* Blazor → JavaScript: 360.9 миллисекунды

Как правило клиентская часть Web-приложение не работает с большими объемами данных, в таких случаях этими значениями можно принебречь

**2.5 Сравнительный анализ скорости работы с DOM-деревом в WEB-браузере**

Для сравнения скорости работы с DOM-деревом были выбраны технологии Blazor и React. Для отображения React-элементов в Blazor был разработан компонент ReactRenderer который позволяет генерировать и отображать React-элементы. Будет отображаться вложенный маркированный список (теги ul и li) по древовидному элементу сгенерированному по аналогии с разделом 2.4. Далее замеряется время за которое каждая библиотека сгенерирует разметку по данным и отобразит её при помощи DOM-api.

В результате выполнения серии опытов были получены следующие результаты они отображены на рисунке 5.



**Рисунок 5. График зависимости времени отрисовки от количества элементов**

Для структуры размером в 100000 элементов были получены следующие результаты среднего значения времени отрисовки:

* Blazor: 4092.2 миллисекунды
* React: 1234.8 миллисекунды

Таким образом отрисовка в React работает в среднем в 3.3 раза быстрее.

**2.6 Результаты тестов производительности**

Blazor работает медленно и потребляет больше ресурсов процессора, чем аналогичные технологии. Скорость вычислений в среднем в 20 раз больше, а скорость отрисовки элементов верстки в 3.3 больше. Однако просадку в производительности можно считать приемлемой, так как логика обычных приложений потребляет не значительные ресурсы процессора, большую роль играет отображение элементов. За время работы с демонстрационным приложением неудобств замечено не было. В случае если производительность критична можно реализовать критичные участки приложения на более производительной технологии и воспользоваться вызовом между средами исполнения. Стоит учитывать что ведутся работы по повышению производительности Blazor.

**2.7 Направления для дальнейших исследований**

Проведение дополнительных тестов производительности не является целесообразным на данный момент, так как все еще ведутся работы по улучшению производительности Blazor. После выхода версии 1.0 можно будет провести детальные тесты производительности.

За время работы была обнаружена нехватка существующих Blazor-компонентов для решения следующих задач:

* JWT-аутентификация на клиенте
* GRID-компонент с фильтрацией и пагинацией
* Автоматические генераторы форм

Эти задачи могут быть направлениями для дальнейших исследований.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе:

1. Рассмотрены существующие Web-технологии и произведено обозрение исследуемых (глава 1).
2. Разработано демонстрационное приложение (глава 2 и раздел 2.1).
3. Произведено тестирование производительности (разделы 2.2-2.5).
4. Сделан вывод о производительности Blazor (раздел 2.6).
5. Найдены темы для дальнейших исследований (раздел 2.7).

В целом фреймворк Blazor продемонстрировал себя как целостное решение применимое для Front-end разработки. Он уступает по производительности, что может быть не приемлемо при решении некоторых задач, однако если приложение не нагружено вычислениями, то Blazor может быть использован для упрощения разработки без каких либо потерь отзывчивости для приложения.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

# .NET Framework: [Электрон. Ресурс]. - https://ru.wikipedia.org/wiki/.NET\_Framework

# Краткий обзор технологий для Интернет-приложений: [Электрон. Ресурс]. - https://compress.ru/article.aspx?id=9825.

1. Описание API Blazor: [Электрон. Ресурс]. - <https://blazor.net/api/index.html>.
2. Примеры приложений на Blazor: [Электрон. ресурс]. - https://blazor.net/community.html.