

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования*

**«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»
КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

РАСЧЁТНО - ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе на тему:

Реализации инструмента анализа параллельных программ

Студент	<u>Капустин А.И.</u> (Подпись, дата)	И.О. Фамилия
Руководитель курсового проекта	<u>Ковтушенко А.П.</u> (Подпись, дата)	И.О. Фамилия

Москва 2017

Содержание

Введение	4
1 Аналитический раздел	5
1.1 Парадигмы параллельного программирования	5
1.1.1 Структура и характеристики параллельных алгоритмов	5
1.1.2 Программные парадигмы	5
1.1.3 Проектирование параллельных алгоритмов	6
1.1.3.1 Декомпозиция	7
1.1.3.2 Коммуникации	7
1.1.3.3 Кластеризация	7
1.1.3.4 Распределение	7
1.1.4 Характеристики производительности параллельного алго- ритма	7
1.1.4.1 Ускорение и эффективность	8
1.1.4.2 Закон Амдала	9
1.1.4.3 Факторы, снижающие ускорение	10
1.1.5 Наблюдение за выполнением параллельной программы	11
1.1.5.1 Проблемы производительности параллельных систем	11
1.1.5.2 Детерминированность компьютерных системы	12
1.1.5.3 Анализ зависимостей	12
1.1.5.4 Сбор данных	13
1.1.5.5 Время сбора данных	14
1.1.6 Технологии параллельного программирования	14
1.1.6.1 Linda	14
1.1.6.2 PVM (Parallel Virtual Machine)	15
1.1.6.3 MPI (Message Passing Interface)	15
2 Конструкторский раздел	16
2.1 Технология сбора данных	16
2.1.1 Синтаксический анализ исходных текстов	16
2.1.2 Статическое связывание с библиотекой профилировщика	16
2.1.3 Определение точек трассировки во время выполнения	16
2.1.4 PICL	17
2.1.5 Технология обработки данных	20
2.2 Серверная часть	20
2.2.1 Базы данных	20
2.2.2 API для взаимодействия с сервером	21
3 Технологический раздел	22
3.1 Выбор языка программирования	22

3.2	Выбор вспомогательных библиотек	22
3.3	Выбор базы данных	22
3.3.1	Диаграмма классов	23
4	Исследовательский раздел	24
4.1	Время дизеринга раличных алгоритмов	24
4.2	Качество получаемого изображения	25
4.3	Размер получаемого изображения	25
	Заключение	27

Введение

Вычислительные системы с массовым параллелизмом совершили революцию в мире параллельных вычислений, обеспечив производительность порядка нескольких Терафлоп/с. Необходимость в вычислениях такого объёма возникает в широком круге областей от молекулярной физики до предсказания погоды. На сегодняшний день массивно параллельные системы являются лидерами по критерию цена/производительность. Однако, за таким прогрессом аппаратного обеспечения не поспевало программное обеспечение. Очевидно, что будут созданы более мощные массивно параллельные системы, и основной проблемой становится разработка программного обеспечения, способного максимально использовать вычислительные ресурсы. Параллельные вычисления связаны с очень сложным и тяжело понимаемым ходом выполнения программ, и недостаточно полное понимание не позволяет полностью использовать вычислительные ресурсы. Так как производительность – самый важный критерий при использовании параллельных компьютеров, и так как производительность пилотных реализаций параллельных программ как правило далека от ожидаемой, модификация программы с целью повышения производительности является важной частью процесса разработки. Основным фактором, ведущим к большому количеству трудоёмкой работы, требующей высокой квалификации является нехватка средств для анализа и оценки производительности. При отсутствии таких средств, причины низкой производительности выявляются с помощью средств, разработанных для конкретного приложения и метода тыка. Повышение производительности параллельных программ наиболее важная, но трудоёмкая задача, которая требует хорошего понимания задачи. Цель средств контроля и визуализации производительности параллельных программ – помочь разработчику обрести это понимание. Визуализация производительности заключается в использовании графических образов для представления анализа данных о выполнении программы для лучшего её понимания. Такие средства визуализации были очень полезны и в прошлом, и широко используются в настоящее время для повышения производительности параллельных программ. Несмотря на прогресс в области визуализации научных данных, технологии визуализации для параллельного программирования являются объектом внимания многих разработчиков, так как требуется тем более сложная визуализация, чем более сложными становятся параллельные системы.

1 Аналитический раздел

Алгоритмы, с которыми приходится иметь дело при параллельном программировании гораздо сложнее, чем аналогичные последовательные алгоритмы. Часть проблем касается распараллеливания самого алгоритма (например, как разбить процесс на задачи и как поставить им в соответствие физические процессоры), часть касается оптимального использования вычислительных ресурсов (баланс загрузки процессоров, межпроцессные взаимодействия, доступ к кэшу). Для разработки высокопроизводительных приложений программисту не только очень хорошо знать структуру самого приложения, но и структуру аппаратной платформы, а зачастую и программной (особенности операционной системы, компилятора и т.д.). Итак, уровень знаний, необходимый для разработки высокопроизводительных параллельных программ выше, чем для последовательных программ. Параллельное программирование может быть очень мучительным и запутанным. В добавок отладка параллельной программы и поиск критических мест также трудоёмкий и длительный процесс. Из-за этих причин программирование для массивно параллельных машин считается непростым делом, и в значительной степени причиной этому служит недостаток инструментария по сравнению с последовательными машинами. Для того, чтобы понять поведение и внутреннюю логику параллельных программ и помочь программисту выявить потенциальные слабые места (например, ограничения по межпроцессным взаимодействиям) необходимы средства контроля хода выполнения параллельной программы. Они могут использоваться для сравнения производительности схожих программ или помогать при отладке.

1.1 Парадигмы параллельного программирования

1.1.1 Структура и характеристики параллельных алгоритмов

Любой параллельный алгоритм (программа) состоит из блоков последовательных и параллельных вычислений. Последовательная часть программы (называется критическим сечением) – это последовательность операторов, которая должна выполняться только одним процессором. За критическим сечением обычно следует ветвление, инициирующее параллельно выполняемые участки программы (параллельные сегменты). В месте соединения параллельных сегментов выполняется синхронизация и параллельные сегменты возвращаются к критическому сечению. Синхронизация требуется для того, чтобы вычисления в параллельных сегментах закончились прежде, чем начнется выполнение последовательной части.

1.1.2 Программные парадигмы

При параллельном программировании появляются дополнительные сложности (по сравнению с последовательным программированием): возникает необходи-

мость управлять несколькими процессорами и координировать межпроцессорные вызовы. В общем случае параллельная программа представляет собой ряд заданий, работающих параллельно друг другу и взаимодействующих между собой. Существует несколько парадигм (моделей) программирования при создании параллельных алгоритмов. Наиболее распространенными парадигмами являются модель передачи сообщений и модель разделяемой памяти.

1.1.3 Проектирование параллельных алгоритмов

Несмотря на то, что проектирование параллельных алгоритмов есть процесс творческий и в общем случае достаточно сложно рекомендовать универсальный рецепт, следует все же привести общую методологию проектирования параллельных алгоритмов, которая в значительной степени оградит проектировщика от потенциальных ошибок.

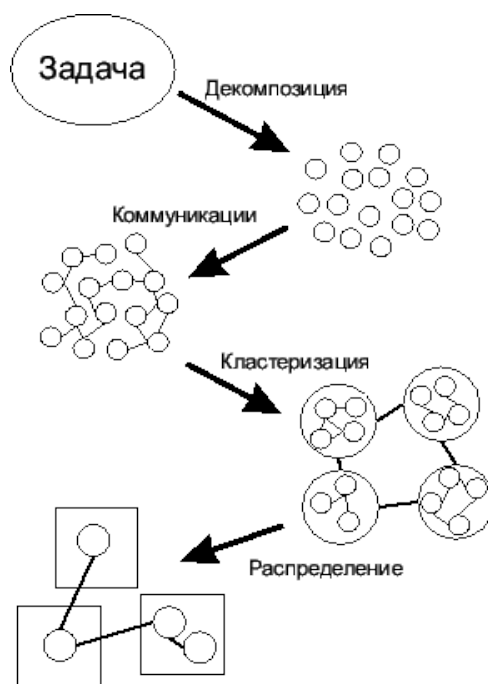


Рисунок 1.1 — Методология проектирования параллельных алгоритмов

Описываемая методология проектирования предлагает подход к распараллеливанию, который рассматривает машинно-независимые аспекты реализации алгоритма, такие как параллелизм, на первой стадии, а особенности проектирования, связанные с конкретным параллельным компьютером, - на второй. Данный подход разделяет процесс проектирования на четыре отдельных этапа: декомпозиция (partitioning), коммуникации (communications), кластеризация (agglomeration) и распределение (mapping). Первые два этапа призваны выделить в исходной задаче параллелизм и масштабируемость, остальные этапы связаны с различными аспектами

производительности алгоритма. Рисунок 1.1 иллюстрирует процесс проектирования параллельного алгоритма. Сформулируем кратко содержание этих этапов.

1.1.3.1 Декомпозиция

Общая задача вычислений и обработки данных делится на меньшего размера подзадачи. При этом игнорируются проблемы практической реализации, например, число процессоров используемого в будущем компьютера. Напротив, все внимание сосредотачивается на возможном параллелизме исходной задачи.

1.1.3.2 Коммуникации

Определяется требуемая связь между подзадачами, ее структура и конкретные алгоритмы коммуникаций.

1.1.3.3 Кластеризация

Структура подзадач и коммуникаций оценивается с учетом требований производительности алгоритма и затрат на реализацию. Если необходимо, отдельные подзадачи комбинируются в более крупные с целью улучшения производительности и снижения затрат на разработку.

1.1.3.4 Распределение

Каждая подзадача назначается определенному процессору, при этом стараются максимально равномерно загрузить процессоры и минимизировать коммуникации. Распределение может быть статическим или формироваться в процессе выполнения программы на основе алгоритмов балансировки загрузки (load balancing algorithms). Следует заметить, что при прохождении последних двух этапов необходимо учитывать архитектуру параллельного компьютера, имеющегося в распоряжении разработчика, другими словами параллельный алгоритм должен быть адекватен используемой параллельной системе.

1.1.4 Характеристики производительности параллельного алгоритма

Задачей программиста является проектирование и реализация программ, которые удовлетворяют требованиям пользователя в смысле производительности и корректной работы. Производительность является достаточно сложным и многосторонним понятием. Кроме времени выполнения программы и масштабируемости следует также анализировать механизмы, отвечающие за генерацию, хранение и передачу данных по сети, оценивать затраты, связанные с проектированием, реализацией, эксплуатацией и сопровождением программного обеспечения. Существуют весьма раз-

нообразные параметры, влияющие на производительность вычислительной системы. Среди них наиболее значимыми являются: требования по памяти, производительность сети, время задержки при передаче данных (latency time), переносимость, масштабируемость, затраты на проектирование, реализацию, отладку, требование к аппаратному обеспечению и т.д. Критериями, по которым оценивается производительность, являются время выполнения программы, ускорение и эффективность. Относительная важность различных параметров будет меняться в зависимости от природы вычислительной системы и поставленной задачи. Специфика конкретной задачи может требовать высоких показателей для каких-либо определенных критериев, в то время как остальные должны быть оптимизированы или полностью игнорированы. Ниже мы рассмотрим лишь две характеристики производительности, а именно, эффективность и ускорение, поскольку они наиболее часто используются при анализе производительности параллельных алгоритмов.

1.1.4.1 Ускорение и эффективность

Ускорение параллельного алгоритма S_p определяется следующим образом:

$$S_{p0} = \frac{T_0}{T_p} \quad (1.1)$$

$$S_p = \frac{T_1}{T_p} \quad (1.2)$$

где T_0 - время работы наилучшего последовательного алгоритма, T_1 - время работы параллельного алгоритма на одном процессоре, T_p - время работы параллельного алгоритма на p процессорах. Следует отметить, что в общем случае $T_0 < T_1$, т.е. последовательный алгоритм работает быстрее, чем параллельный алгоритм с использованием одного процессора, т.к. в любом параллельном алгоритме всегда присутствует дополнительная часть кода, обеспечивающая распараллеливание вычислений, а именно точки синхронизации, передача данных от одного процессора к другому и т.д. Кроме того, наиболее оптимальные алгоритмические решения не всегда хорошо параллелизуются. Таким образом, при анализе ускорения алгоритма следует всегда оговаривать, какое из определений используется. В общем случае редко удается полностью распараллелить вычислительный процесс и получить максимальное ускорение в p раз. и один параллельный алгоритм не может обеспечить идеальную балансировку нагрузки процессоров, т.е. в равной степени разделить вычислительную работу между процессорами. Эффективность E_p параллельного алгоритма характеризует степень загрузки процессоров и определяется как отношение ускорения S_p к максимально возможному ускорению p :

$$E_p = \frac{S_p}{p} \quad (1.3)$$

Нетрудно заметить, что

$$1 \leq S_p \leq p, \quad \frac{1}{p} \leq E_p \leq 1 \quad (1.4)$$

1.1.4.2 Закон Амдала

Пусть $\alpha \leq 1$ есть некая доля вычислений, которые выполняются в параллельном режиме, а доля $1 - \alpha$ – в последовательном без совмещения этих режимов во времени. Тогда последовательные вычисления занимают время $(1 - \alpha)T$, а параллельные – время $\frac{\alpha T_1}{p}$. Оба режима занимают время $T_p T_1 (1 - \alpha + \frac{\alpha}{p})$. Тогда формулы для ускорения S_p (1.2) и эффективности E_p (1.3) принимают вид:

$$S_p = \frac{p}{p - \alpha(p - 1)} \quad (1.5)$$

$$E_p = \frac{1 - \alpha}{(1 - \alpha)p + \alpha} \quad (1.6)$$

Формулы (1.5) и (1.6) и выражают простую и обладающую большой общностью зависимость, известную как закон Амдала. Согласно этому закону в алгоритме, имеющем два не совмещенных во времени режима последовательных и параллельных вычислений, при $n \rightarrow \infty$ границу ускорения составляет величина, обратная доле последовательных вычислений:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (S_p) = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (1.7)$$

Для повышения скорости вычислений за счет распараллеливания требуется повы-

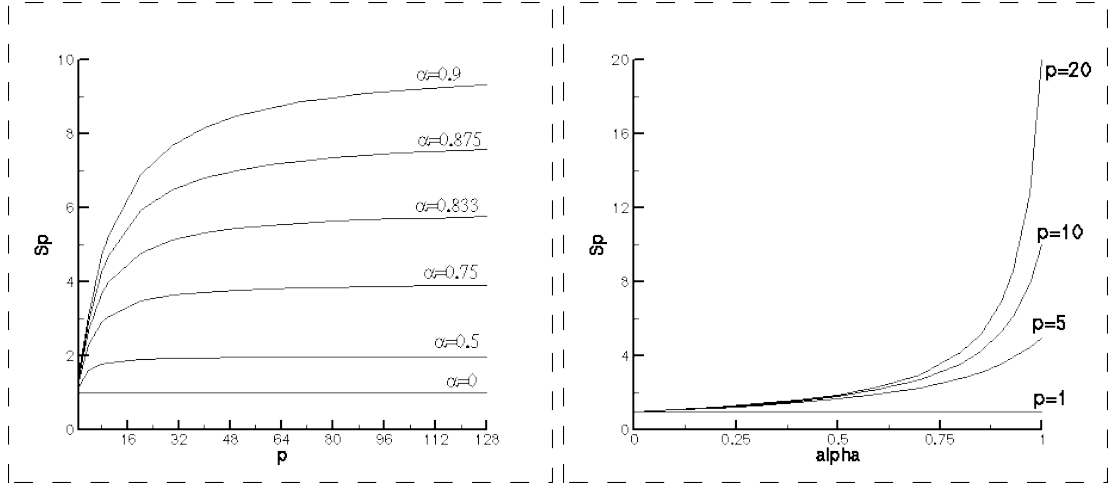


Рисунок 1.2 — Зависимость ускорения S_p от числа процессоров p для различных объемов параллельных вычислений α (слева) и от объема параллельных вычислений(α) для различного числа процессоров p (справа).

шать скорость параллельных вычислений, однако остающиеся последовательные вычисления все в большей степени тормозят ускорение в целом. Даже небольшая доля последовательных вычислений может сильно снизить общую скорость. Особенно

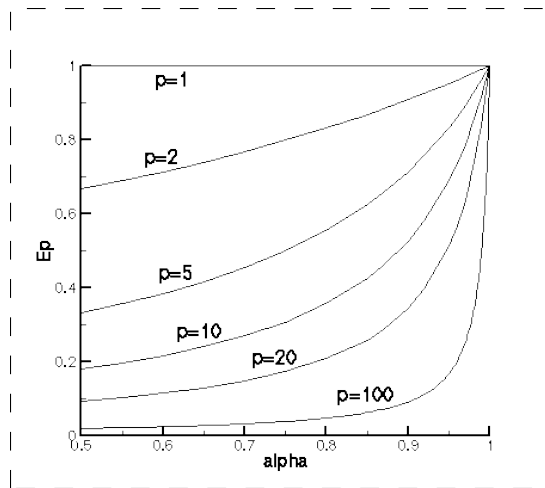


Рисунок 1.3 — Зависимость эффективности E_p от объема параллельных вычислений α для различного числа процессоров p .

сильное влияние на ускорение и эффективность алгоритма последовательные вычисления оказывают в области α , близкому к 1. Поэтому в алгоритмах с большим объемом параллельных вычислений заметным является уменьшение последовательных вычислений даже на доли процента от общего объема вычислений. Закон Амдала представляет собой приближенную модель ускорения, т.к. не учитывает так называемые накладные расходы и зависимость α от p . Однако в общем случае доля параллельных вычислений может меняться с изменением числа используемых процессоров (проблема масштабируемости).

1.1.4.3 Факторы, снижающие ускорение

Факторы, снижающие ускорение (overheads) К основным факторам, приводящим к снижению ускорения, относятся: 1. Разбалансировка нагрузки процессоров (load unbalancing). Неравномерная распределение вычислительной работы между процессорами - отдельные процессоры могут простаивать (idle processors) - не обеспечивает высокой степени параллелизма, что в свою очередь снижает эффективность; 2. Синхронизация процессоров (processor synchronization). На выполнение программного кода, обеспечивающего синхронизацию типа барьер, требуются временные затраты. 3. Коммуникации (communications). При обмене сообщениями между процессорами могут возникать задержки как вследствие особенностей программной реализации алгоритма (например, на момент принятия сообщения процессором оно еще не отправлено другим процессором), так и вследствие аппаратных причин (например, загруженность сети). 4. Параллельный ввод/вывод (parallel input/output). Например, программы, работающие на различных процессорах, одновременно выводят данные в один и тот же файл и т.д.

1.1.5 Наблюдение за выполнением параллельной программы

Практика показывает, что производительность параллельной программы далеко не всегда растёт с ростом мощности используемого аппаратного обеспечения. Причин этому много: пользователи хотят видеть более удобные сервисы системы, потребляющие вычислительную мощность, механизмы обеспечения безопасности также требуют процессорного времени. От этих эффектов невозможно избавиться. Со стороны разработчика эффективность использования вычислительных ресурсов может быть увеличена за счёт тщательной разработки программных продуктов с одной стороны и анализа поведения программ во время выполнения – с другой. Если анализ производительности является важным для последовательных программ, то для параллельных и распределённых систем он жизненно необходим. Причиной этому служат сложные взаимодействия между разными частями программы, работающими над решением одной общей задачи. Необходимость использования общих ресурсов ведёт к проблемам связанным с синхронизацией процессов, временем ожидания, тупиками и т.д. Кроме обычных проблем последовательной программы возникают новые трудности, связанные с управлением параллельными задачами, которые влекут к потере процессорной мощности, тем самым процессорная мощность не используется на том уровне, на котором могла. Наблюдение за ходом выполнения программы, с помощью событийного подхода, ведёт к большим объёмам файлов трасс. Для того чтобы сконцентрироваться на местах трассы, представляющих интерес, необходимо выявить их местоположение. Следовательно, для общего и быстрого анализа необходимо использовать статистические методы. После получения такой информации, можно применять более детальный подход. При этом частой задачей является не только измерение производительности системы или её части, но и получение представления о динамическом взаимодействии процессов.

1.1.5.1 Проблемы производительности параллельных систем

Настройка последовательных программ относительно проста: используется профилирование для определения наиболее часто используемых частей. Обычно, это лишь малая часть всего кода. Переработка этих частей программы приводит к увеличению производительности. Этот простой подход не работает в случае параллельных и распределённых программ. Например, оптимизация части программы, которая должна ждать промежуточного результата счёта другого процесса, не принесёт выгоды – этот процесс просто будет находиться в состоянии ожидания больше времени. Для того, чтобы определить почему программа ведёт себя так, как она себя ведёт, надо искать причины такого поведения. Это ведёт к рассмотрению причинно-следственных связей в системе. Как будет показано далее, анализ параллельной системы с этой точки зрения может привести к интересным результатам.

1.1.5.2 Детерминированность компьютерных системы

В общих чертах, детерминированность представляет собой закон, по которому определённое действие ведет к определённому результату. В контексте вычислительных систем детерминированность означает, что поведение процессов определяется законом, выраженным в виде программы. То есть будущее каждого процесса зависит от текущего положения в программе, текущего контекста относительно других процессов и следующей инструкции программы. Есть несколько специфичных вопросов, относящихся к параллельным системам. В последовательных программах инструкции выполняются в том же порядке, как и в тексте программы, за исключением ветвлений. В этом случае следующая инструкция определяется исходя из некоторых условий. Рассматривая все инструкции как потенциальные события, каждая не управляющая инструкция является причиной последующей инструкции, а управляющая инструкция может являться причиной одной из множества возможных инструкций. В то время, как причинно-следственные связи в последовательной программе очевидны, поскольку каждая инструкция является предпосылкой следующей инструкции, это не так для взаимодействующих процессов, которые обмениваются информацией для решения общей задачи. Обмен данными может состоять, например, из обмена частичными результатами примитивов синхронизации, барьеров. В параллельных системах каждый процесс имеет свой поток управления, но в добавление к нему, будущее состояние процесса зависит также от информации, полученной от других процессов. Передача этой информации посредством системных средств связи приводит к зависимости между процессами. В результате есть как пары событий в разных процессах как зависящие друг от друга, так и не зависящие. Зависимость между двумя событиями может быть вызвана двумя причинами: 1) события принадлежат одному процессу; 2) события включают коммуникацию (например, принимающее и отправляющее сообщение или записывающее и считывающее информацию в/из разделяемой памяти).

1.1.5.3 Анализ зависимостей

Рис. 1.4 показывает пример, когда три процесса А, В и С работают над одной задачей. Горизонтальными линиями обозначен ход выполнения одного процесса, точки показывают важные события, и стрелками показаны причинно-следственные связи. Такая связь автоматически подразумевает временнОю предшествование одного события другому.

Следуя по стрелкам от события к событию с учётом взаимодействий, мы приходим к событиям, зависящим от начального. В отличии от последовательной программы, не все события в будущем могут быть достигнуты с помощью такого обхода, т.е. не все события причинно-зависимы. Рассмотрим событие b2. Все собы-

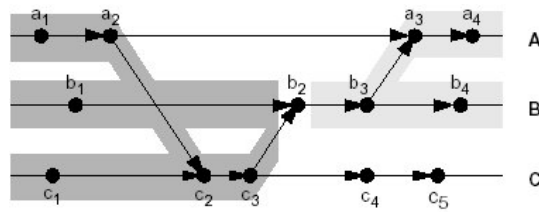


Рисунок 1.4 — Структура зависимостей событий

тия в светло-серой области зависят от b_2 , но c_4 и c_5 не могут быть достигнуты из b_2 , так они не зависят от b_2 . Все события в тёмно-серой области влияют на b_2 , но все события, следующие за a_2 и c_3 могут быть отброшены при поиске причин b_2 . При анализе трасс процессов с помощью таких зависимостей следует учесть, что: 1. необходимо знать положение каждого события локально внутри процесса; 2. должно быть возможно определить связанные пары событий в разных процессах. Эти требования могут быть удовлетворены, если исследуемая система предоставляет соответствующую информацию о событиях с сохранением её в трассе. При обработке таких трасс достаточным критерием для соответствия двух событий одному и тому же сообщению является одинаковое количество «пишущих» событий в одном процессе и «читающих» - в другом. В других случаях, например, при перекрывающихся сообщениях, необходимо фиксировать дополнительную информацию, которая может быть использована для сопоставления пар событий. Примером такой информации могут служить номера пакетов в коммуникационных протоколах. Анализ зависимостей в компьютерных системах означает следование по связанным событиям из конкретной точки, которая представляет собой интересное (нежелательное) поведение системы. Все инструкции программы, являющиеся причиной данного события являются кандидатами на оптимизацию. В параллельных системах с большим количеством процессов такое ограничение по предшествующим событиям позволяет сконцентрироваться на основных моментах, что приводит к значительному снижению затрат на анализ.

1.1.5.4 Сбор данных

Учитывая сложность реальной вычислительной системы, не представляется возможным предсказать поведение системы во времени с помощью теоретических изысканий. По этой причине в большинстве инструментов программирования отсутствуют средства «планирования производительности». А те инструменты, в которые включён анализ производительности, дают лучшие результаты при профилировании. Профилирование оказывает большую помощь при программировании последовательных программ, при этом используется подход, основанный на измерениях. Т.е. определяется момент входа и выхода из каждой подпрограммы, подсчитывается количество вызовов каждой подпрограммы. Мониторинг делает шаг вперёд по отношению к простому измерению – маркеры событий вставляются в программный код в местах,

предоставляющих определённый интерес, и достижение маркера может означать, что программа совершила определённые действия. С помощью этих средств программа может быть анализирована на разных уровнях абстракции, определяемых разметкой исходников.

1.1.5.5 Время сбора данных

Есть два разных подхода к определению моментов, когда информация о состоянии системы должна быть собрана профилировщиком. Традиционные методы используют временнОй подход, при котором информация непрерывно пишется по протоколу, схожему с медицинским оборудованием, или данные собираются с определённой частотой. Этот подход имеет право на жизнь при малой частоте сбора данных для получения общего вида поведения системы. Для получения информации о внутреннем поведении вычислительной системы необходима высокая частота сбора событий с одной стороны и длительный промежуток времени – с другой. При описанном подходе это приведёт к огромному потоку данных. Событийный мониторинг позволяет уменьшить объём данных на несколько порядков. При этом на важных частях программы фиксируется больше событий, чем на остальных. Тем самым достигается необходимая пользователю картина о динамическом поведении системы. При этом подходе измерения выполняемой программы порождают компактный вид системы, отбрасывающий детали, ненужные для решения текущего вопроса.

1.1.6 Технологии параллельного программирования

Широкое распространение компьютеров распределённой памятью определило и появление соответствующих систем программирования. Как правило, в таких системах отсутствует единое адресное пространство, и для обмена данными между параллельными процессами используется явная передача сообщений через коммуникационную среду. Отдельные процессы описываются с помощью традиционных языков программирования, а для организации их взаимодействия вводятся дополнительные функции. По этой причине практически все системы программирования, основанные на явной передаче сообщений, существуют не только в виде новых языков, а в виде интерфейсов и библиотек. К настоящему времени примеров известных систем программирования на основе передачи сообщений накопилось довольно много: Shmem, Linda, PVM, MPI, PARMACS, P4, MPL, NX и др. В этом разделе рассмотрим наиболее популярные системы.

1.1.6.1 Linda

Идея построения системы Linda исключительно проста, а потому красива и очень привлекательна. Параллельная программа есть множество параллельных про-

цессов, и каждый процесс работает согласно обычной последовательной программе. Все процессы имеют доступ к общей памяти, единицей хранения в которой является кортеж. Отсюда происходит и специальное название для общей памяти - пространство кортежей. Каждый кортеж это упорядоченная последовательность значений.

1.1.6.2 PVM (Parallel Virtual Machine)

Параллельную виртуальную машину (PVM) можно определить как часть средств реального вычислительного комплекса (процессоры, память, периферийные устройства и т.д.), предназначенную для выполнения множества задач, участвующих в получении общего результата вычислений. В общем случае число задач может превосходить число процессоров, включенных в PVM.

1.1.6.3 MPI (Message Passing Interface)

Наиболее распространённой технологией программирования параллельных компьютеров с распределённой памятью в настоящее время является MPI. Стандарт MPI фиксирует интерфейс, который должны соблюдать как система программирования MPI на каждой вычислительной системе, так и пользователь при создании своих программ. Современные реализации чаще всего соответствуют стандарту MPI версии 1.1. В 1997-1998 годах появился стандарт MPI 2.0, значительно расширяющий функциональность предыдущей версии. Однако, до сих пор этот стандарт не получил широкого распространения. MPI-программа – это множество параллельных взаимодействующих процессов. Все процессы порождаются один раз, образуя параллельную часть программы. В ходе выполнения MPI-программы порождение дополнительных процессов или уничтожение существующих не допускается. Каждый процесс работает в своём адресном пространстве, никаких общих переменных или данных в MPI нет. Основным способом взаимодействия между процессами является явная посылка сообщений. Для локализации взаимодействий параллельных процессов программы можно создавать группы процессов, предоставляя им общую среду для общения – коммуникатор. Состав образуемых групп произволен. Группы могут полностью входить одна в другую, не пересекаться или пересекаться частично. При старте программы всегда считается, что все порождённые процессы работают в рамках всеобъемлющего коммуникатора. Этот коммуникатор существует всегда и служит для взаимодействия всех процессов MPI-программы. Каждый процесс имеет уникальный атрибут номер процесса, который является целым неотрицательным числом. С помощью этого атрибута происходит значительная часть взаимодействия процессов между собой.

2 Конструкторский раздел

2.1 Технология сбора данных

Первостепенную важность для оценки эффективности параллельной программы имеет информация о взаимодействиях между её отдельными частями (процессами) и долях времён, затраченных процессами на взаимодействие и ожидание. Для получения этой информации во время выполнения программы вызовы примитивов взаимодействия должны соответствующим образом обрабатываться средством трассировки. Рассмотрим основные подходы.

2.1.1 Синтаксический анализ исходных текстов

С помощью синтаксического анализатора в исходном тексте программы выявляются вызовы примитивов взаимодействия и заменяются вызовами профилирующей библиотеки. Основным преимуществом этого метода является возможность для каждого вызова передать трассировщику положение этого вызова в исходном тексте, имена переменных и другую информацию, не доступную во время выполнения. В результате чего, при анализе трассы программы можно будет легко сопоставить вызовы библиотеки передачи сообщений с исходным кодом. Также есть возможность легко вернуться к «рабочему» варианту программы, без трассирующих вызовов, т.е. не использовать разбор кода. Из недостатков следует выделить: сложность реализации, зависимость от языка программирования, дополнительный шаг компиляции, увеличение объёма трассы.

2.1.2 Статическое связывание с библиотекой профилировщика

В этом случае изменения исходного кода не требуются. Вместо этого на этапе связывания вызовы библиотеки передачи сообщений подменяются вызовами профилировщика. Конфликт имён при этом разрешается либо за счёт многоэтапного связывания, либо за счёт «слабых» (weak) связей. Как и в предыдущем случае, здесь не требуется вносить изменения в исходный код, но при этом не требуется проводить сложный анализ исходного кода.

2.1.3 Определение точек трассировки во время выполнения

Метод основан на анализе частоты и шаблонов вызовов функций во время выполнения программы. При этом двоичный код программы компилируется стандартным образом, а профилирующие вызовы вставляются автоматически на основе реального поведения программы. Этот метод можно использовать при невозможности перекомпиляции программы. Но придётся столкнуться с такими проблемами как: зависимость от конкретной платформы, отсутствие возможности прямо указать необ-

ходимость профилирования того или иного участка программы, сложность сопоставления обнаруженного узкого места с исходным кодом. Кроме получения информации о системных вызовах программы, также необходимо предоставить пользователю возможность указывать собственные временные метки. Это позволяет определить время выполнения логических участков программы, а также упростить связь событий трассы с исходным кодом. Работа над выявлением узких мест в программе как правило ведётся итерационно, со всё большим уровнем детализации. При этом внимание разработчика сосредотачивается на отдельных участках программы, оставляя другие участки за кадром. Чтобы снизить объём трассы, средство трассировки должно допускать трассировку только части программы, иметь средства для приостановки и возобновления трассировки. Изложенным требованиям удовлетворяет библиотека PICL, использующая для трассировки интерфейс профилирования MPI.

2.1.4 PICL

PICL (Portable Instrumented Communication Library) - библиотека подпрограмм, разработанная в Oak Ridge National Laboratory (ORNL), которая реализует общий интерфейс передачи сообщений на множестве многопроцессорных архитектур. Программы, написанные с помощью примитивов PICL вместо команд среды взаимодействия, являются переносимыми в том смысле, что они могут выполняться на любой машине, для которой есть реализация PICL.

PICL была разработана для:

- а) Обеспечения переносимости между разными платформами с минимальными накладными расходами;
- б) Получения трассировочных данных по межпроцессным взаимодействиям и пользовательским событиям, также с минимальными накладными расходами для избежания влияния на поведение исследуемой задачи, и
- в) Обеспечения переносимости на новые системы, простого расширения для использования преимуществ новых команд конкретной системы

Для достижения этих целей PICL реализована как библиотека подпрограмм языка C с машинно-независимым трассировочным слоем и машинно-зависимым слоем, отображающимся на команды конкретной системы (когда это возможно). PICL была открыта для широкого использования в марте 1989. Её разработка продолжалась, и были выпущены несколько релизов, добавляющие новые коммуникационные и трассировочные команды и поддержку новых вычислительных систем. В последней версии PICL запись трассы имеет формат, показанный в таблице 2.1. Для каждой записи обязательными являются первые шесть полей, но если количество полей данных равно нулю, то дескриптор данных исключается.

Таблица 2.1 — Формат записи трассы PICL

Наименование поля	Назначение
тип записи	тип информации в записи
тип события	тип события, с которым связана запись
отметка времени	когда информация была истинной
идентификатор процессора	процессор, с которым связана информация
идентификатор процесса	процесс, с которым связана информация
количество полей данных	количество дополнительных полей данных, связанных с данными типами записи и события
дескриптор данных	формат полей данных
данные	дополнительные поля данных

Основное внимание в этом формате уделено записи информации, связанной как с системными, так и с пользовательскими событиями, при этом каждая запись связана с определённым типом события. Порядок полей записи отражает важность полей для систем, обрабатывающих данные: что, где, когда и ассоциированные с событием данные. Если тип записи или события не знаком системе, то данную запись можно пропустить. Но если система хочет получить информацию из записи, то ей для этого всё предоставлено.

Формат PICL предусматривает хранение данных в текстовом виде. Все поля состоят из символов кодировки ASCII и разделены пробелами. Тип записи, тип события, идентификаторы процессора и процесса, количество полей данных – целые числа. Дескриптор данных – это либо целое число, либо символьная строка переменной длины, заключённая в двойные кавычки. Формат полей данных определяется дескриптором данных. Временная метка – число с плавающей точкой, разрешение которой зависит от единиц измерения (например, секунд) и точности таймера на машине, на которой генерируется трасса.

Практика показала, что текстовый формат очень полезен для переносимости, поиска и исправления ошибок в трассе и для возможной работы с трассой без помощи средств визуализации, и он не препятствует сжатию файлов, если это необходимо. При этом PICL использует двоичное представление данных при внутренней обработке для экономии места и избежания накладных расходов при преобразовании данных. Значения полей и их интерпретация приведены в таблице 2.2 Идентификаторы процесса и процессора определяют «местоположение» события. Хотя обычно процессы на каждом процессоре нумеруются последовательно начиная с 0, может быть полезно нумеровать процессы независимо от процессора, прямо поддерживая как процессоро-зависимый, так и процессоро-независимый подход к визуализации. (Заметим, что на данный момент PICL не поддерживает много процессов на одном

Таблица 2.2 — Значения полей записи

Поле	Назначение
тип записи	≥ 0 пользовательский тип записи ≤ 0 стандартный системный тип записи
тип события	≥ 0 пользовательское событие или определённое пользователем подмножество событий $= -1$ относится ко всем событиям (глобальная информация) < -1 системное событие или системное подмножество событий
временная метка	≥ 0 идентификатор конкретного процессора $= -1$ относится ко всем процессорам (глобальная информация) < -1 относится к подмножеству процессоров
идентификатор процесса	≥ 0 идентификатор процесса на заданном процессоре $= -1$ относится ко всем процессам на заданном процессоре (глобальная информация) < -1 относится к подмножеству процессов на указанном процессоре
количество полей данных	количество дополнительных полей данных
дескриптор данных	если заключён в двойные кавычки, то формат функции <code>scanf()</code> , иначе: $= 0$ символ ("%c") $= 1$ строка ("%s") $= 2$ целое число ("%d") $= 3$ длинное целое число ("%ld") $= 4$ число с плавающей точкой одинарной точности ("%f") $= 5$ число с плавающей точкой двойной точности ("%lf") > 6 другой предопределённый формат данных

(последовательном) процессоре. Поле идентификатора процесса было введено для совместимости с системами, которые поддерживают эту модель и для возможности будущего расширения PCL. В трассах текущего формата идентификатору процесса присваивается либо действительной PID, т.е. номер процесса, заданный операционной системой, либо -1.)

2.1.5 Технология обработки данных

Формат трассы PICL, рассмотренный в предыдущем параграфе, предполагает единый формат записи как для событий профилируемой программы, так и для управляющих событий. Управляющие события описывают изменения формата трассы, которые должны быть учтены при её последующем разборе. Характерным примером такого события может служить описание нового формата данных.

Для программы, обрабатывающей эти данные более удобным было бы представление их в виде событий, характеризующихся временным интервалом, типом события и идентификатором процесса.

2.2 Серверная часть

Для хранения файлов трасс формата PICL была спроектирована база данных

2.2.1 Базы данных

```
1 CREATE TABLE Tracks (  
2 filename VARCHAR(50) NOT NULL,  
3 typeRecord INT NOT NULL,  
4 typeEvent INT NOT NULL,  
5 time FLOAT NOT NULL,  
6 prid INT NOT NULL,  
7 pid INT NOT NULL,  
8 numData INT NOT NULL,  
9 data VARCHAR(200)  
10 ) ENGINE = INNODB DEFAULT CHARSET=utf8;
```

Так же были спроектированы вспомогательные базы данных для хранения информации о событиях MPI и телеметрии работы пользователя.

```
1 CREATE TABLE Codes(  
2 code INT NOT NULL ,  
3 name VARCHAR(50) NOT NULL PRIMARY KEY,  
4 description TEXT,  
5 category TEXT  
6 ) ENGINE = INNODB DEFAULT CHARSET=utf8;  
7 CREATE TABLE Telemetry(  
8 username VARCHAR(50) NOT NULL,  
9 timeRequest DATETIME NOT NULL,  
10 timeStart FLOAT NOT NULL,  
11 timeEND FLOAT NOT NULL  
12 ) ENGINE = INNODB DEFAULT CHARSET=utf8;
```

Для хранения данных пользователя была создана модель пользователя в

```

1 mongoose.model('User', new Schema({
2   name: String,
3   password: String,
4   files: []
5 }));

```

2.2.2 API для взаимодействия с сервером

Была придумано API взаимодействия между клиентом и сервером. Безопасность взаимодействия гарантируется тем, что взаимодействия осуществляется на основе токенов. Все запросы, кроме запроса на авторизацию, требуют содержания в себе уникального токена. Токен дается клиенту после успешного прохождения авторизации.

```

1 [GET] /authenticate
2 Авторизация
3 Аргументы
4 )name — логин
5 )password — пароль
6 [GET] /getFile
7 Получение куска содержимого файла
8 Аргументы
9 )filename — имя файла
10 )offset — отступ от начала файла
11 )limit — количество получаемых записей
12 )timeMin — время начала записей
13 )timeMax — время конца записей
14 [GET] /getTimeBorders
15 Получение временного интервала трассы
16 Аргументы
17 )filename — имя файла
18 [GET] /getFileList
19 Получение списка файлов, доступных для данного пользователя
20 Аргументы
21 )name — логин
22 [GET] /getNumRecords
23 Получение количества записей для данного файла
24 Аргументы
25 )filename — имя файла
26 )timeMin — время начала записей
27 )timeMax — время конца записей
28 [GET] /getCodeInfo
29 Получение информации о событии по его коду
30 Аргументы
31 )code — код события

```

32	[GET] /getNumProcess
33	Получение максимального количества процессов, которые записаны в файл
34	Аргументы
35)filename — имя файла

3 Технологический раздел

3.1 Выбор языка программирования

Для реализации был выбран язык C++. Данный язык был обоснован следующими причинами: Причины:

- а) Его поддерживает библиотека PCL
- б) Компилируемый язык со статической типизацией.
- в) Сочетание высокоуровневых и низкоуровневых средств.
- г) Реализация ООП.
- д) Наличие удобной стандартной библиотеки шаблонов

3.2 Выбор вспомогательных библиотек

Для реализации программы была выбрана библиотека Qt.

- а) Широкие возможности работы с изображениями, в том числе и попиксельно
- б) Наличии более функциональных аналогов стандартной библиотеки шаблонов в том числе для разнообразных структур данных

Так же были использованы библиотеки Nodejs, express, jsonwebtoken, mysql-nodejs, mongoose,

3.3 Выбор базы данных

Для хранения файлов трасс была выбрана база данных MySQL

- а) Быстродействие. Благодаря внутреннему механизму многопоточности быстродействие MySQL весьма высоко.
- б) Лицензия. Раньше лицензирование MySQL было немного запутанным; сейчас эта программа для некоммерческих целей распространяется бесплатно
- в) Переносимость. В настоящее время существуют версии программы для большинства распространенных компьютерных платформ. Это говорит о том, что вам не навязывают определенную операционную систему. Вы сами можете выбрать, с чем работать, например с Linux или Windows, но даже в случае замены ОС вы не потеряете свои данные и вам даже не понадобятся дополнительные инструменты для их переноса.

Для хранения базы данных логинов и паролей была выбрана NoSQL документоориентированная база данных MongoDB

- а) Быстрое извлечение простых структур данных
- б) Может хранить неструктурную информацию
- в) Лицензия. Для некоммерческих целей распространяется бесплатно

3.3.1 Диаграмма классов

Для реализации различных алгоритмов была разработана следующая структура классов. Был создан абстрактный класс дitherинга `Dithering` с интерфейсом, наследуемом в дочерних классах. Так же была введена система менеджеров: `DitherManager`, `MetricsManager`, `DataManager` и `MainManager`.

4 Исследовательский раздел

4.1 Время дизеринга раличных алгоритмов

Рассмотрим время работы различных алгоритмов для различных размеров изображения.

	Размер, пиксели	Время, мкс
White noise	133x90	862
Blue noise	133x90	930
Brown noise	133x90	934
Violet noise	133x90	937
Pink noise noise	133x90	930
Floyd-SD	133x90	1200
F. Floyd-SDe	133x90	1093
JJN	133x90	1909
White noise	458x458	15735
Blue noise	458x458	19374
Brown noise	458x458	19432
Violet noise	458x458	18787
Pink noise noise	458x458	18129
Floyd-SD	458x458	27173
F. Floyd-SDe	458x458	26424
JJN	458x458	47201
White noise	458x458	194376
Blue noise	458x458	200577
Brown noise	458x458	208400
Violet noise	458x458	251294
Pink noise noise	458x458	258775
Floyd-SD	458x458	251294
F. Floyd-SDe	458x458	387104
JJN	458x458	857481

Из рассмотрения вынесены алгоритм Юлиомы в вследствие того, что он значительно медленней других алгоритмов(2732568 мкс для изображения 113x90) в и алгоритм Байера, реализованный при помощи шейдеров, вследствие того, что он не не укладывается в рамки требуемой палитры (при этом он работает очень быстро 64 мс для изображени 640x480).

4.2 Качество получаемого изображения

	PSNR	SSIM
White noise	33.2894	0.914778
Blue noise	36.1756	0.971626
Brown noise	33.32370	0.915767
Violet noise	37.63480	0.984574
Pink noise	36.4484	0.974718
Floyd-SD	37.0553	0.979173
F. Floyd-SDe	36.8401	0.976452
JJN	37.30740	0.981688
Yliouma	36.2359	0.967796
Without dithering	37.6348	0.984574

Несмотря на то, что некоторые сложные алгоритмы дизеринга диффузии ошибок обещают получения хорошего качества изображений, некоторые алгоритмы случайного дизеринга на конкретных изображениях дают лучший результат. Для того чтобы получить наилучший результат дизеринга, следует проанализировать результаты дизеринга нескольких изображений и выбрать среди них наилучшее. Так же следует отметить некоторую необъективность метрик: результат метрик не всегда совпадает с человеческим восприятием картинки.

4.3 Размер получаемого изображения

	Разрешение, пикс	Размер, кб	Исх. раз., кб
White noise	900x675	186	2373 bmp, 1779 png
Blue noise	900x675	135	
Brown noise	900x6750	186	
Violet noise	900x675	98	
Pink noise	900x675	1158	
Floyd-SD	900x675	1273	
F. Floyd-SDe	900x675	143	
JJN	900x675	117	
White noise	3984x32355	3431	50344 bmp, 37758 png
Blue noise	3984x3235	2570	
Brown noise	3984x3235	3432	
Violet noise	3984x3235	1950	
Pink noise	3984x3235	2406	
Floyd-SD	3984x32355	3605	
F. Floyd-SDe	3984x3235	4269	
JJN	3984x3235	3716	

Из вышеприведенной таблицы, можно заметить, размер изображения после дизеринга значительно уменьшается, достигается выигрыш в размере изображения до 15 раз, в зависимости от исходного контейнера изображения и выбранного способа дизеринга.

Заключение

В данной работе были реализованы различные алгоритмы дизеринга, было произведено сравнение и анализ этих алгоритмов. Программа позволяет получить изображение схожего визуального качества при значительном уменьшении размера. Был получен вывод о том, что для различных целей следует использовать различные алгоритмы дизеринга, универсального алгоритма дизеринга не существует. Программа не привязана к какой-то конкретной операционной системе и может быть скомпилирована и запущена на всех популярных ОС.