Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт
(государственный университет)»

Факультет управления и прикладной математики

Кафедра теоретической и прикладной информатики

Изучение статистических характеристик файловых систем на основе анализа архивов пользователей

Выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)

Направление подготовки: 01.09.00 Прикладные математика и физика

Выполнил:
студент 176 группы Веринов Александр Алексеевич

Научный руководитель:
д.ф.-м.н. Тормасов Александр Геннадьевич

Научный консультант:
сотрудник Acronis Непорада Андрей Леонидович

Москва

2015

Оглавление

Введение 3

Глава 1. Обзор предметной области 4

1.1. Файловые системы 4

1.2. Линейное чтение 4

1.3. Фрагментация 4

1.4. NTFS 6

1.5. Сведения из теории вероятностей 9

Глава 2. Анализ предыдущих работ 10

2.1. Методология 10

2.2. Результаты 12

Глава 3. Суть работы, её цели и основые результаты 13

Глава 4. Выбор методики проведения исследования 15

4.1. Инструменты 15

4.2. Обработка результатов 16

Глава 5. Описание процесса исследования 17

5.1. Свойства MFT 17

5.2. Свойства файлов 18

5.3. Свойства директирий 21

5.4. Размеры файлов 24

Глава 6. Обсуждение результатов исследования 26

Заключение 27

Список литературы 28

Введение

Знание распределения размеров файлов требуется для оптимального построения и использования файловых систем. Например, если файловая система содержит в основном малые по размеру файлы, то выбор малого размера блока (элементральная единица хранения в файловой системе, набор некоторого количества байт) позволяет более эффективно использовать дисковое пространство. С другой стороны, операции с большими файлами выполняются эффективнее при большем размере блока. Информация о распределении размеров файлов решает проблему нахождения компромиса.

Другим, но всё же близким, приложением знаний о статистических характеристиках реальных файловых систем являются разработка и тестирование программ, ориентированных на работу с файлами и файловыми системами. Знание о распределении размера файлов, характере и степени фрагментации, и других статистических особенностях файловых систем позволяют более информированно выбирать алгоритмы, подбирать их параметры, строить синтетические тесты (проводить симуляции), соответствующие действительности. Без подобной информации такой выбор пришлось бы делать вслепую.

В данной работе было проведено исследование 285 актуальных резервных копий файловых систем пользователей. Они содержали более 12 миллионов файлов суммарным размером более 7PB данных В ходе работы был создан инструмент для получения анонимизированной информации о расположении файлов в разделе, проведён сбор данных, исследование собранной мета-информации. Также приводятся обзор результатов предшествующих исследований и анализ результатов наших экспериментов.

Глава 1

Обзор предметной области

1.1. Файловые системы

Файловые системы - это система структурных и логических правил, определяющая способ хранения данных на носителе информации, а также способ извлечения этих данных. Файловая система разделяет данные на именованные куски, называемые файлами. Помимо хранимых данных, файловая система также хранит на диске метаданные, описывающие файлы и предоставляющие доступ к данным.

1.2. Линейное чтение

Последовательный (линейный) доступ к данным значительно быстрее, чем случайный [1]. Поэтому последовательное расположение данных и метаданных служит краеугольным камнем производительных файловых систем. Следовательно, очень важно, чтобы файлы на диске не были разбиты на большое число отдельных кусков. Польза линейности операций чтения-записи подводит к необходимости избегать фрагментацию (понятие раскрывается ниже), а также заставляет особым образом организовывать работу программ с диском.

1.3. Фрагментация

Фрагментация — явление, при котором место для хранения данных используется неэффективно, уменьшая размер полезного пространства и/или производительность файловой системы. Можно выделить несколько различных, но тесно взаимосвязанных, форм фрагментации файловых систем.

1.3.1. Внутренняя фрагментация

Дисковое пространство в файловых системах, как правило, выделяется блоками фиксированного размера. Это приводит к тому, что под файл на диске не может выделяться произвольный объём. Вместо этого, под файл отводится целое количество блоков. При этом, последний блок может быть заполнен неполностью. Появление такого неиспользуемого пространства называют внутренней фрагментацией.

Внутрненная фрагментация не позволяет использовать слишком большие размеры блоков.

1.3.2. Внешняя фрагментация

Внешняя фрагментация (фрагментация свободного пространства) происходит, когда свободное пространство разделено на небольшие куски, между которыми расположены занятые блоки. Этот вид фрагментации мешает выделить последовательный участок на диске, даже если свободного пространства достаточно. Внешняя фрагментация появляется, когда файлы на диске уменьшаю свой размер или удаляются. Особенно усложняет ситуацию удаление файла, состоящего из большого числа фрагментов (см. следующий пункт).

1.3.3. Фрагментация файлов

Фрагментацией файлов называют ситуацию, когда один файл хранится на диске в виде множества фрагментов, расположенных непоследовательно. Это приводит к тому, что запись и чтение в такой файл не может проходить полностью линейно, а это уменьшает производительность операций чтения-записи. Файл может стать фрагментированным, если на момент создания имела место сильная внешняя фрагментация, или если файл увеличивается в размере сверх зарезервированного для файла объёма.

1.3.4. Рассеяние файлов

Этот вид фрагментации связан с фрагментацией метаданных. Он происходит, когда информация о расположении логически связанных файлов записана на диске нелокально. Рассеяние файлов приводит к уменьшению производительности работы с набором связанных файлов. Этому понятию сложно дать чёткое определение, поскольку понятие связанности файлов зависит от того, каким образом эти файлы используются приложениями. Для уменьшения рассеяния файлов можно, например, стараться располагать метаданные файлов, расположенных в одной папке, вместе.

1.4. NTFS

NTFS (от англ. New Technology File System — „файловая система новой технологии“) — проприетарная файловая система, разработанная компанией Microsoft. Эта файловая система является одной из наиболее популярных файловых систем, и в нашей выборке на её долу приходилось более 95 % образов. По этой причине, было решено остановится исключительно на NTFS-образах разделов.

Файловая система NTFS заключает в себе множество структурных особенностей. Для ясности изложения нам потребуются лишь немногие из них. За более детальным описанием устройства файловых систем NTFS и Ext2/3/4 можно обратиться к [2].

Ниже следует краткое описание устройства NTFS и используемых нами структур.

1.4.1. Обзор устройства

Одной из наиболее важных концепций для понимания устройства NTFS является тот факт, что всякая важная информация располагается в файлах. Только загрузочный сектор имеет фиксированное расположение. Остальная же инфор-

мация расположена в служебных или пользовательских файлах на диске, и не имеет наперёд заданного расположения. Отдельно заметим, что директории также являются файлами.

Наиболее важным файлом в файловой системе NTFS без сомнения является MFT (англ. Master File Table — „Главная файловая таблица“).

1.4.2. Master File Table

MFT - это файл, в котором хранится информация обо всех файлах раздела, в том числе и о самом MFT. Каждый файл имеет по крайней мере одну записать в MFT, но большие фрагментированные файлы могут использовать большее число записей для своего описания. Каждая дополнительная запись содержит номер своей основной записи. Эти записи называются записями файлов (англ. File Record).

Запись в MFT имеет размер 1 Кб (это значение может быть переопределено в загрузочном разделе), но только 42 байта имеют определённое значение. Оставшиеся же байты содержат аттрибуты файла. Атрибутами называются данные, относящиеся к файлу и имеющие конкретное назначение. Например, один атрибут содержит имя файла, другой - содержимое файла, и т.д.

Первая запись MFT описывает сам MFT. Эта запись необходима для доступа ко всем остальным файлам, так как только с её помощью можно узнать расположение определённой записи MFT на диске. Первые 16 записей зарезервированы для специальных файлов, используемых NTFS. Кроме MFT, эти записи описывают журнал файловой системы, карту свободного места раздела, файл с информацией о разделе, файл со всеми Юникод-символами в верхнем регистре, и другие файлы.

Фрагментация MFT может сильно ухудшить производительность всей файловой системы, поэтому $\frac{1}{8}$ раздела изначально резервируется для расширения MFT. Зарезервированное под MFT пространство может меняться в ходе работы.

Этот механизм позволяется свести на нет фрагментацию MFT для большинства случаем, подтверждение чего было получено нами на основе собранных данных.

1.4.3. Записи файлов

Каждая запись имеет несколько полей вначале, а оставшееся пространство заполняется атрибутами. Атрибут имеет заголовок, описывающий этот атрибут, за которым следует содержимое. Заголовок имеет определённую структуру, в то время как содержимое атрибута может быть произвольным.

Атрибут файла может быть двух типов: находящийся внутри записи файла (англ. resident attribute), и находящийся вне записи файла (англ. non-resident attribute). В случае первого, содержимое атрибута просто располагается в той же записи файла. В случае второго, в записи файла находится описание списка фрагментов, а фрагменты находятся в произвольных местах на диске.

Для поиска определённого атрибута используется специальный атрибут, который всегда находится внутри главной записи файла — список атрибутов (англ. attribute list). Он содержит информацию о том, где находятся заголовки всех частей всех атрибутов, кроме себя самого. Один атрибут может быть описан в нескольких записях файлов по частям, если одной записи оказалось недостаточно.

В завершение рассказа об атрибутах файлов, опишем как можно прочитать определённый атрибут, имея номер его основной записи файла:

1. В первом секторе раздела читаем информацию о расположении MFT.

2. По полученному адресу находим запись файла MFT, используя которую находим положение на диске основной записи интересующего нас файла (проделав все следующие пункты, но для нулевого файла).

3. Перебираем атрибуты в этой записи, пока не найдём атрибут „список атрибутов“. Если его нет, то нужная запись должна найтись в этой записи

файла. Если же он нашёлся, то из него узнаём запись файла, в которой описан интересующий нас фрагмент, и идентификатор атрибута, который нам нужно в этой записи искать.

4. Находим положение на диске записи файла, найденной в предыдущем пункте (снова через MFT).

5. Перебираем атрибуты этой записи, находим интересующий нас заголовок атрибута. Для резидентного атрибута сразу получаем нужные байты.

6. Если в прошлом пункте содержимое атрибута хранится вне записи файла, то идём по списку описаний фрагментов (англ. runlist) и находим интересующий нас кластер на диске.

1.5. Сведения из теории вероятностей

Для моделирования данных нам понадобились два семейства распределений.

Первым из них является логнормальное распределение. Случайная величина распределена логнормально, если её логарифм распределён нормально. Плотность распределения задаётся параметрами μ и σ:

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} exp(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2})$$

Другим распределением, которое мы использовали, было распределение Парето. Это распределение определяется параметрами α и x_m, и задаётся плотностью:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{\alpha x_m^k}{x^{\alpha+1}}, & x \geq x_m \\ 0, & x < x_m \end{cases}.$$

Глава 2

Анализ предыдущих работ

Не так много публикаций было посвящено статистическим характеристикам файловых систем. Многие исследования фокусировались на динамике использования файловых систем (основанные на трассировке), в то время как на статические особенности приходится заметно меньшее число публикаций. Также внимание часто уделялось файлам в Интернете, но эта работа полностью посвящена свойствам локальных файловых систем.

Рассмотрим методологию и результаты нескольких таких исследований.

2.1. Методология

В хронологически первой из рассмотренных нами статей [3] изучались респределения размеров и времён жизни файлов на системе TOPS-10. В этой статье рассмотрено несколько способов приближения эмпирического распределения теоретическим. Автор применял эти методы к гиперэкспоненциальному распределению, однако можно использовать их и для других распределений.

2.1.1. Метод моментов

В этом методе иссоедователь пытается найти распределение из выбранного семейства, первые несколько моментов которого совпадают с соответствующими моментами эмпирического распределения. Если было найдено правильное распределение и выборка достаточно велика, то можно получить совпадение всех моментов с малой погрешностью. В противом случае можно рассчитывать лишь на некоторое приближение эмпирического распределения.

2.1.2. Эвристический подход

В применении к гиперэкспоненциальному распределению, этот метод используется равенство дисперсии и математического ожидания экспоненциального распределения. Он основан на разбиении выборки на группы, относимые к одной компоненте распределения. Для этого объекты добавляются в рабочий набор, начиная с малых значений. Добавление происходит до тех пор, пока дисперсия не станет примерно равной математическому ожиданию. В этот момент мы получаем параметр экспоненциального распределения для этой части выборки, и начинаем подбор следующей компоненты.

2.1.3. Критерий Колмогорова-Смирнова

Этот способ использует статистику Колмогорова-Смирнова. В случае соответствия теоретической и эмпирической фукнций распределения, эта статистика имеет известное распределение. Если статистика выборки имеет слишком экстремальное значение, то гипотеза равенства эмпирической и теоретической функций распределения отвергается.

В другой работе [4], авторы исследовали файловые системы компьютеров под управлением Windows. В их работе рассмотрены системы из различных областей деятельности. Они обратили внимание на распределение размеров файлов, размеров директорий по числу поддиректорий и по числу содержащихся файлов, временные характеристики использования файлов, а также на влияние расширения файла. В этой статье использовалось совместные функции распределения для представления распределений в сразу многих файловых системах.

В работе 2001 года [5] приводится аргументация и опытные данные, а также модель поведения пользователя, которые оспаривают распределение Парето в качестве распределения для размеров файлов, и говорят в пользу логнормального распределения. В этой статье основным методом поиска соответствующего рас-

пределения из семейства был поиск визуального соответствия для эмпирической и теоретической функций распределения.

2.2. Результаты

Работы [4], [5], [6], [7], [8], [3] предоставляют большое количество графиков распределений файлов по размерам для разных систем и годов. [4] и [7] предоставляют во многом аналогичные результаты: данные по файлам, директориям, возрасту файлов, их расширениям.

В рассмотренных работах были найдены сведетельства того, что

1. распределения размеров файлов является логнормальным, или смесью композицией логнормального для основной части файлов и Парето в правом хвосте;

2. распределение размеров директорий по количеству содержащихся файлов является смещённым обратно-квадратичным;

3. средние размеры файлов на Windows-системах в 2004 году был 189КБ, в 2000 году — 108КБ;

4. большие файлы полностью доминируют занятое дисковое пространство, и это тенденция слабо меняется с увеличением размера блока [6];

5. много других особенностей, не относящихся с содержанию этой работы.

Глава 3

Суть работы, её цели и основые результаты

В нашей работе мы исследуем резервные копии файловых систем пользователей, задействованных в сфере бизнеса. В ходе работы были разработаны специальные инструменты для эффективного извлечения метаданных NTFS и Ext систем, используемых в последствии для исследования. По мере выполнения работы стало ясно, что на имеющейся выборке на NTFS-образы приходится порядка 95% всех образов файловых систем. Этот факт привёл к решению отбросить результаты для образов Ext, и полностью сосредоточиться на образах NTFS. Итак, после предварительной обработки (исключающей пустые образы, образы Ext и разные версии одного образа), у нас осталось 285 уникальных образов.

Как и наши предшественники, мы строим распределения размеров файлов, смотрим на особенности распределений для директорий и остальных файлов. Помимо этих данных, мы собираем статистику степеней фрагментации файлов, рассматриваем распределение размеров непрерывных фрагментов, составлящих файлы. Также мы отдельно останавливаемся на файле MFT, в силу его особой значимости для работы NTFS.

Целью данной работы было:

1. обновить прежние данные о распределении размеров файлов (последняя найденная нами статья датируется 2007 годом);

2. исследовать расположения файлов на уровне блоков диска, посмотреть на характер фрагментации файлов файловых систем;

3. разработать инструмент для эффективного извлечения данных о расположении файлов на диске.

В результате работы были достигнуты все поставленные выше цели. Оказалось, что распределение размеров файлов можно с большой степенью точности

описывать смесью двух логнормальных распределений, что согласуется с [4]. Распределение числа блоков в фрагменте оказалось смесью логнормального распределения и распределения Парето. Что же касается числа фрагментов у файла, его распределение оказалось из семейства распределений Парето. Средний размер файла на исследуемых образах был равен 568КБ, а средняя длина фрагмента - 82 блоков. Кроме этих значений, было получено большое количество других значений, описывающих различные статистические характеристики рассматриваемых образов. Для распределений из найденных параметрических семейств были получены оценки параметров.

Глава 4

Выбор методики проведения исследования

4.1. Инструменты

Получение данных для наших исследований потребовало от нас разработки специальных инструментов. Дело в том, что обход дерева директорий от корня для извлечения информации и размерах всех файлов является непозвольтельно медленным способом. Это связано с разницей скорости линейного и случайного чтения [1]. Использование обычного драйвера системы также не позволяет получить детальные данные о физическом расположении файлов на диске, а эта информация нужна для получания представления о фрагментации. Доступ к специальным файлам тоже нельзя так просто получить.

По описанным выше причинам, было решено работать с данными прямиком в образах, подобно чтению одного большого файла. Читая так диск, можно не привязываться к структуре дерева директорий, и производить чтение максимально эффективно.

Поскольку итоговое исследование имеет своим объектом системы NTFS, опишем ситуацию с позиций NTFS. Все данные о расположении файлов на диске храняться в MFT, наперёд известны все занятые записи файлов, и для обработки информации о расположении всех атрибутов всех файлов непременно необходимо прочитать каждую запись файлов. Порядок записей файлов для нас не имеет значения, поэтому мы можем читать их самым эффективным способом: по порядку их номеров. Практически, единственный простор для оптимизации находится в работе с файлами, которые используют несколько записей файлов. В конечном итоге, полученное решение должно быть близко к оптимальному, в силу описанных выше причин.

4.2. Обработка результатов

По полученным данным об образах файловых систем, мы строим множейство различных графиков, в различных координатах. Для поиска распределения, наиболее соответствующего эмпирическим данным, мы проводили визуальный анализ получаемых графиков. Мы решили отойти от прошлых работ, и воспользоваться методом максимизации правдоподобия для выбора параметров распределения из семейства. Другим расхождением с предыдущими работами является способ построения доверительных интервалов: мы воспользовались методом бутстрэппинга (англ. bootstrapping).

4.2.1. Метод максимального правдоподобия

Правдоподобие, $L(\theta; x_1, \ldots, x_n) = \prod f(x_i)$, это плотность вероятности или вероятность выборки (в зависимости от типа распределения) при определённом значении параметра θ, как функция параметра. Для простоты, обычно производится максимизации логарифма правдоподобия. По сути, мы ищем распределение, при котором вероятность нашей выболки максимальна. Подробнее о методе максимального правдоподобия можно прочитать, например, в [9].

4.2.2. Бутстрэппинг

Метод заключается в использовании выборки как популяции, и генерировании новых выборок из этой популяции (с возвращениями). Новый набор выборок позволяет вычислить множейство значений интересующей нас статистики, и оценить характер его распределения. Например, таким способом можно оценить погрешность вычисленного среднего значения.

Глава 5

Описание процесса исследования

Первым делом были считаны данные о файловых системах. Про каждый файл были получены записи двух типов: метаданные о файле как целого (идентификатор, размер, временные метки и другое) и описание положения его блоков. Это описание включало в себя идентификатор файла, тип и имя атрибута, логическое положение последовательного набора блоков в файле, и физическое расположение этого набора блоков на диске.

Используя собранные данные, были исследованы различные категории файлов.[1]

5.1. Свойства MFT

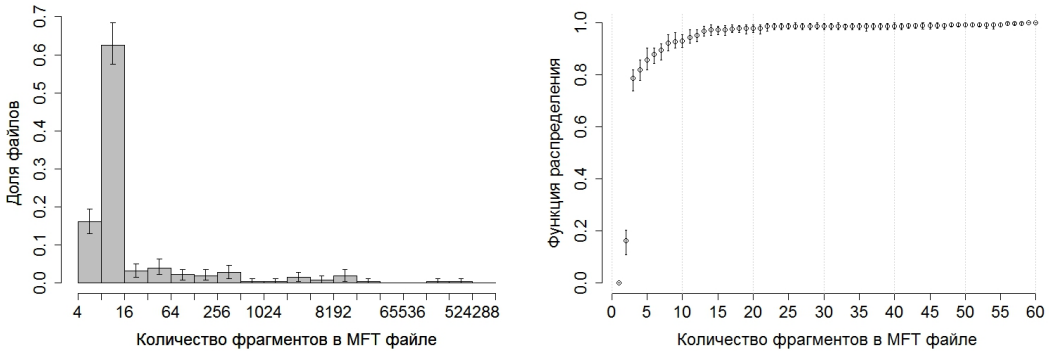
При рассмотрении файла MFT, мы считали суммарное количество непрерывных участков дискового пространства, отводимое на хранение атрибутов этого файла. Поскольку MFT всегда содержит по крайней мере один непрерывный участок пространства для хранения записей файлов, и по крайней мере один участок для хранения битовой карты занятых записей, отсчёт числа фрагментов начинается с двойки.

Рассмотрение распределения количества фрагментов в файле MFT привело нас к следующим результатам (Рис. 5.1):

1. 16% файлов MFT содержат только два фрагмента;
2. 62% файлов MFT содержат три фрагмента;
3. Было решено не останавливаться на вопросе описания поведения хвоста

[1] В этой главе столбики гистограмм включают левый конец и не включают правый. Доверительные интервалы оценены с помощью бутстрэпа, использовались 95-процентные доверительные интервалы.

распределения, поскольку слишком мало данных ложится в область больших значений.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

Рис. 5.1. Распределение числа фрагментов файла MFT

Наблюдаемая ситуация в распределении количества фрагментов отражается в том, что те немногие MFT, которые сильно фрагментированы, вносят большое число фрагментов малого размера. В итоге вышло, что 58% фрагментов состоят из одного кластера, но средняя длина фрагмента в кластерах равна 3307.

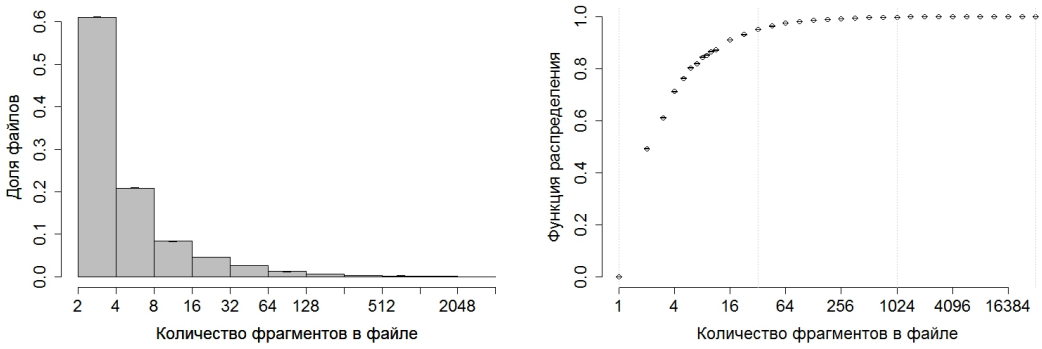
5.2. Свойства файлов

Здесь мы будем рассматривать исключительно файлы, которые не являются директориями, и не относятся к служебным файлам файловой системы.

5.2.1. Число фрагментов у файла

Данные показали, что 91% нерезидентных атрибутов совсем не фрагментирваны, т.е. состоят из единственного фрагмента. Далее будем рассматривать число фрагментов только для фрагментированных атрибутов.

Рассмотрение распределения количества фрагментов привело нас к графикам, приведённым на Рис. 5.2.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

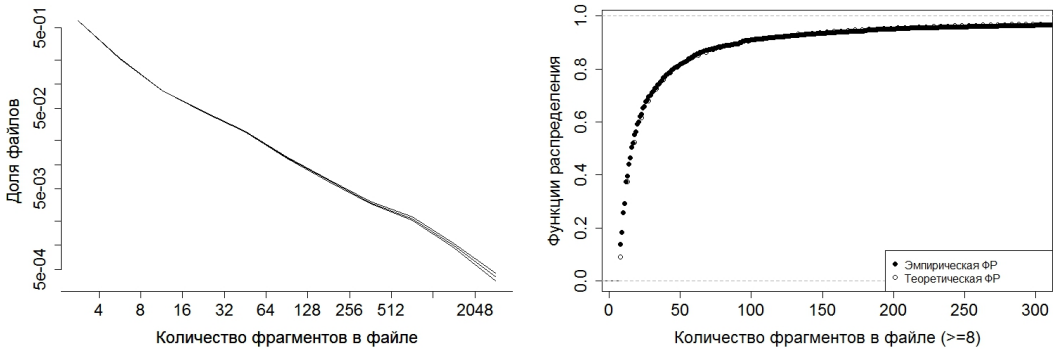
Рис. 5.2. Распределение числа фрагментов файла

Чтобы более детально рассмотреть характер уменьшения функции плотности распределения числа фрагментов, был построен тот же график частот, но уже с обеими координатами в логарифмическом масштабе (Рис. 5.3, *а*). Верхняя и нижняя линии соответствуют 95% доверительному интервали на основе бутстрэпа. Основная часть графика хорошо ложится на прямую, однако, при малых и больших значениях распределение ведёт себя иначе. Правее 8000 попадает лишь 75 наблюдений (0.009%), поэтому не будем уделять особое внимание крайним правым значениям.

Значения левее 8 заметно отклоняются от прямой и измерены довольно точно. По всей видимости, распределение на малых значениях количества фрагментов не подчиняется такой простой зависимости.

Если распределение логарифма случайной величины является экспоненциальным, то можно показать, что сама случайная величина распределена по распределению Парето.

Попробуем приблизить распределение для значений количества фрагментов от 8. Методом максимизации правдоподобия мы получили оптимальные параметры для смещённого на 7 единиц вправо распределения Парето: (α=1.047, x_m=10.68). Сравнение подобранного распределения и эмпирического распределения для атрибутов, которые занимают более семи фрагментов, приведено на



(*а*) Распределение длин фрагментов (*б*) Результат ММП

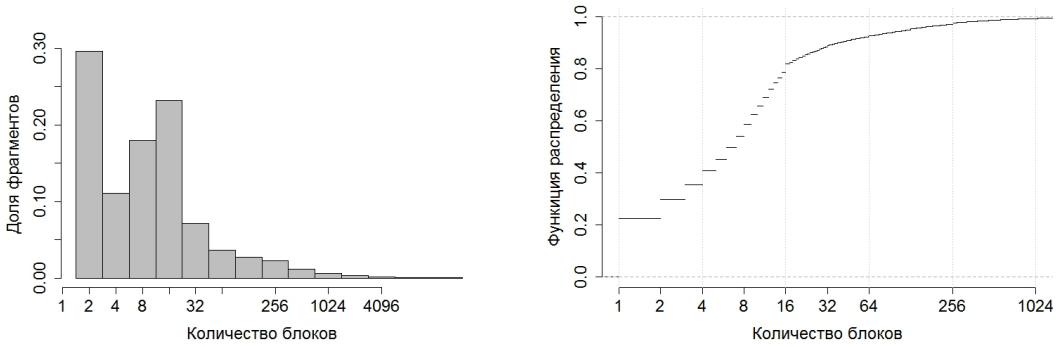
Рис. 5.3. Поиск характера распределения числа фрагментов

Рис. 5.3, *б*. Легко видеть, что графики практически совпадают.

5.2.2. Число блоков в фрагменте

Перейдём к рассмотрению распределения количества блоков в одном фрагменте файла.

Оказалось, что 22.3% всех фрагментов состоят из одного блока, 7.3% - из двух. Медианным значением оказалось 7 блоков, средние - 82. Данные показали, что 85% фрагментов содержат менее 23 блоков. На Рис. 5.4 приведены графики плотности распределения и функции распределения.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

Рис. 5.4. Распределение числа блоков в фрагменте

Вид плотности распределения наталкивает на мысль о том, что распределение является смесью двух. На графике легко заметить одну компоненту, похожую на экспоненту, и другую, представляющую из себя один узкий пик. Тот же график, но с логарифмированной ординатой (Рис. 5.5, *а*), выступает в пользу того, что хвост распределения логарифма числа блоков в фрагменте действительно выглядит как экспоненциальное распределение. Из всего вышесказанного следует целесоотразность рассмотрения смеси распределения Парето и логнормального распределения в качестве искомого.

Проведём подбор параметров методом максимизации правдоподобия. Подбирать мы будем доли распределений, и по два параметра для каждого из них - всего 5 параметров. Делать это будем в два этапа. На первом этапе, по хвосту распределения (произведём отсечение значений до 64 и сдвиг влево на 64) получим оценку параметров распределения Парето. На эту область значений компонента распределения пика должна оказывать уже пренебрежимо малое влияние. Получив это компоненту смеси, подбираем три оставшихся параметра: пропорция смеси, и два параметра логнормальной компоненты. В результате всех этих действий мы получаем нашу теоретическую оценку:

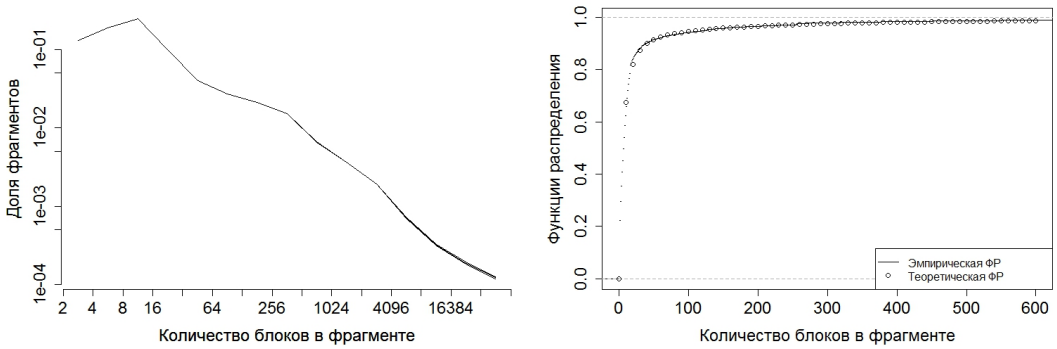
$$f(x) = 0.09368 f_{pareto}(x, \alpha = 1.184, x_m = 145.5) +$$

$$+0.9063 f_{lognorm}(x, log(\mu) = 1.569, log(\sigma) = 1.163)$$

Качество полученной теоретической оценки можно оценить, сравнив функции распределений 5.5, *б*. По графику видно, что нам удалось хорошо описать распределение на всём интервале значений.

5.3. Свойства директирий

Аналогичным способом рассмотрим статистические характеристики отдельно директорий.



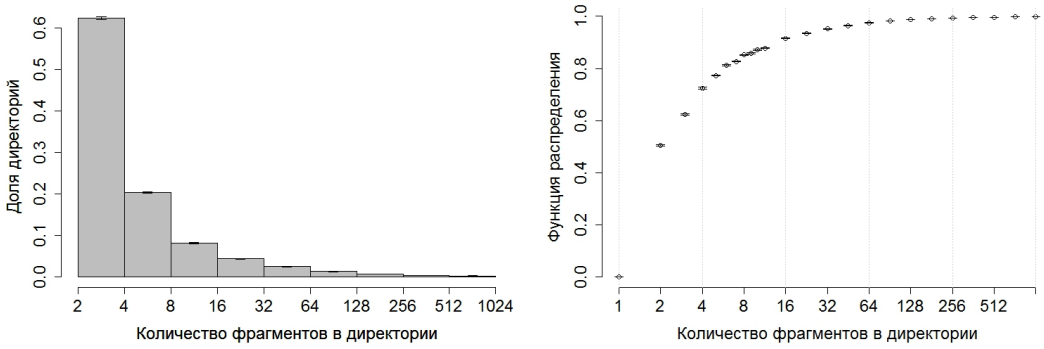
(*а*) Распределение длин фрагментов (*б*) Результат ММП

Рис. 5.5. Поиск характера распределения числа блоков в фрагменте

5.3.1. Число фрагментов у директории

Данные показали, что 73.4% нерезидентных атрибутов папок совсем не фрагментирваны, т.е. состоят из единственного фрагмента. Далее будет рассматривать число фрагментов только для фрагментированных атрибутов.

Рассмотрение распределения количества фрагментов привело нас к графикам, приведённым на Рис. 5.6.

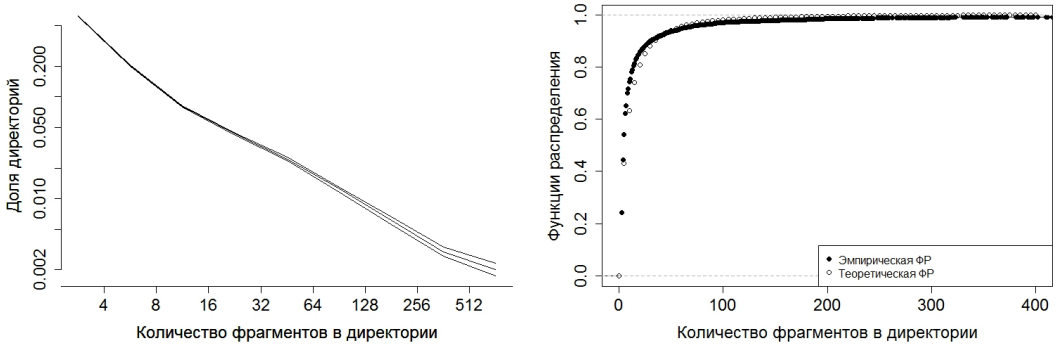


(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

Рис. 5.6. Распределение числа фрагментов директорий

Аналогично случаю с обычнимы файлами, строим графики с обеими координатами в логарифмическом масштабе (Рис. 5.7, *а*). Мы видим, что директории с 3-4 фрагментами всё ещё выделяются из общей картины. В целом, этот график

достаточно хорошо ложится на прямую.



(*а*) Распределение числа фрагментов (*б*) Результат ММП

Рис. 5.7. Поиск характера распределения числа фрагментов

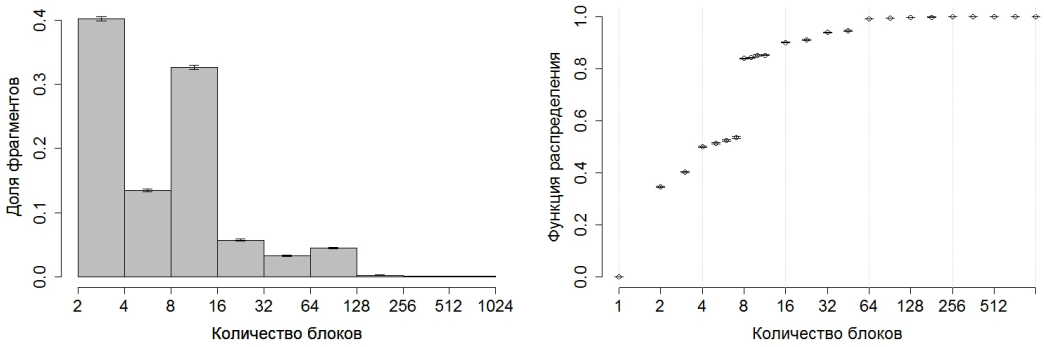
Снова делаем вывод, что искать распределение разумно из семейства распределений Парето. Оптимальные параметры: (α=1.863, x_m = 14.12). График сравнения эмпирического и подобранного распределений: Рис. 5.3, *б*. Все полученные результаты оказались аналогичными с результатами для обычных файлов, параметры подобранных распределений почти совпали.

5.3.2. Число блоков в фрагменте

Перейдём к рассмотрению распределения количества блоков в одном фрагменте директории.

Оказалось, что 89.0% всех фрагментов состоят из одного блока, 4.9% - из двух. Среднее значение оказалось равным 2.48. Далее будем рассматривать только директории, которые располагаются на более чем одном фрагменте. На Рис. 5.4 приведены графики плотности распределения и функции распределения для этого подмножества директорий.

Мы видим, что примерно 85% всех значений попадает на степени двойки - эффект, который не был виден у обычных файлов. Остановимся на этом в исследовании директорий.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

Рис. 5.8. Распределение числа блоков в фрагменте

5.4. Размеры файлов

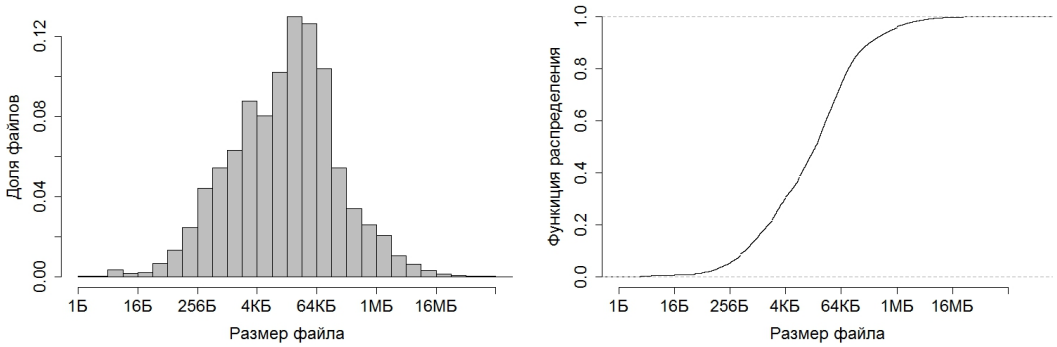
Рассмотрим теперь распределение размеров файлов, не относящихся к служебным файлам NTFS. Тут под размером файла понимается то, что показывает файловая система, то есть размер основного (безымянного) потока данных файла. Остальные атрибуты не суммируются к основному потоку данных и не считаются отдельным файлом: они не принимают никакого участия в этих значениях.

Ещё один момент, стоящий уточнения: используемый тут размер - свойство хранимых данных. Если файл достаточно мал, то эти данные даже не будут занимать отдельного блока. Вместо этого, всё содержимое файла окажется в записи файла. В этом случае размер файла всё же может быть ненулевым.

Принимая во внимание все вышеизложенные замечания, выпишем основные характеристики распределения размеров файлов:

1. 12.3% файлов имеют нулевой размер;
2. первый квартиль: 938 байт; медиана: 11162 байт; третий квартиль: 57122 байт.
3. средний размер файла: 581902.5 байт;

Уберём из рассмотрения файлы нулевого размера.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

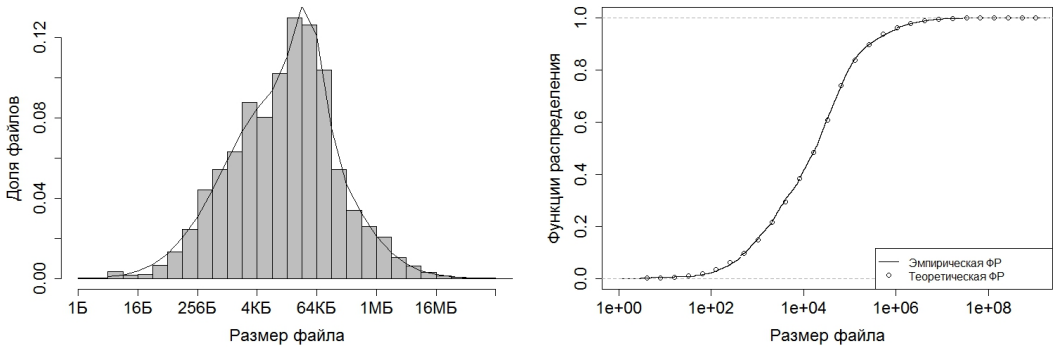
Рис. 5.9. Распределение размеров файлов

На Рис. 5.9, *а* можно видеть, что распределение логарифма размера напоминает смесь двух нормальных распределений. В результате поиска параметров смеси методом максимизации правдоподобия, мы получаем распределение:

$$f(x) = 0.1346 f_{lognorm}(x, log(\mu) = 10.69, log(\sigma) = 0.6713)+$$

$$+0.8654 f_{lognorm}(x, log(\mu) = 9.389, log(\sigma) = 2.603)$$

Сравнение полученной теоретической и эмпирической функций распределения приведено на Рис. 5.10.



(*а*) Плотность распределения (*б*) Функция распределения

Рис. 5.10. Результат применения метода максимизации правдоподобия

Подобранное распределение хорошо описывает реальное распределение.

Глава 6

Обсуждение результатов исследования

В ходе исследования было получено несколько результатов:

1. распределение размеров файлов является смесью двух логнормальных распределений (в [4] было получено просто логнормальное распределение);
2. распределение числа блоков в фрагменте является смесью логнормального распределения и распределения Парето;
3. распределения числа фрагментов у файла оказалось из семейства распределений Парето;
4. распределение числа фрагментов в обычных файлах и в директориях практически совпадают, чего нельзя сказать о размерах фрагментов;
5. были получены оценки параметов рассматриваемых распределений;
6. были рассмотрены статистические свойства файла MFT;
7. Средний размер файла был равен 568КБ (по данным других исследований систем Windows, в 2004 году этот показатель равнялся 189КБ, в 2000 году - 108КБ)

Наши графики распределения размеров файлов имеют заметно более выраженную вторую компоненту распределения, по сравнению с [4]. В приведённой статье, на графиках можно заметить два максимума, но на наших данных правый максимум был сильно „острее“, что и позволило идентифицировать его. Чтобы объяснить это изменение, может потребоваться определить природу этих компонент. Данный вопрос может стать предметом последующих исследований.

Заключение

В основной части исследования участвовали образы 285 файловых систем NTFS из сферы бизнеса, содержавшие более 12 миллионов файлов суммарным размером более 7PB данных. В ходе работы была разработана программа для эффективного сбора данных. В результате были полученны данные, описывающие распределение размеров файлов, размеров непрерывных кусков данных, степень фрагментации файлов. Отдельно были рассмотрены директории и обычные файлы.

Мы сравнили наши результаты с результатами предшествующих исследований. Было получено очередное значение среднего размера файлов (568КБ). Это значение в три раза превышает результат исследования [7] для 2004 года. Также мы оценили актуальные параметры распределений разных характеристик файловой системы, получили или уточнили семейства распределений, из которых следует брать эти характеристики.

Наша работа может быть полезна для принятия информированного решения в задачах, связанных с работой с файловой системой.

В качестве продолжения работы, планируется заняться решением задачи оценки преимущества различных методов дедупликации, а также более детальным изучением статистических особенностей файловых систем.

Список литературы

1. Cmu E. R., Riedel E., Ingen C. V., Gray J. A Performance Study of Sequential IO on WindowsNT ™ 4 . 0 Technical Report MSR-TR-97-34 Microsoft Corporation One Microsoft Way A Performance Study of Sequential I / O on Windows NT ™ 4 . 0. 1997. no. September. P. 1–33.
2. Brian Carrier. File system forensic analysis. 2005. P. 569. ISBN: 0321268172.
3. Satyanarayanan M. A study of file sizes and functional lifetimes // ACM SIGOPS Operating Systems Review. 1981. Vol. 15, no. 5. P. 96–108.
4. Douceur J. R., Bolosky W. J. A Large-Scale Study of File-System Contents. 1999.
5. a.B. Downey. The structural cause of file size distributions // MASCOTS 2001, Proceedings Ninth International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. 2001.
6. Tanenbaum A. S., Herder J. N., Bos H. File size distribution on UNIX systems // ACM SIGOPS Operating Systems Review. 2006. Vol. 40, no. 1. P. 100–104.
7. Agrawal N., Bolosky W. J., Douceur J. R., Lorch J. R. A five-year study of file-system metadata // ACM Transactions on Storage. 2007. Vol. 3, no. 3. P. 9–es.
8. Wang F., Xin Q., Hong B. et al. File system workload analysis for large scale scientific computing applications // Proceedings of the 21st IEEE / 12th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies. 2004. P. 139–152.
9. Zacks S. The theory of statistical inference. Wiley series in probability and mathematical statistics: Probability and mathematical statistics. Wiley, 1971. ISBN: 9780471981039.