

# Разработка и реализация нового способа хранения обратного ссылочного индекса

О.Г. Григорьев, М.А. Ширай

**Аннотация.** В данной работе изучаются проблемы хранения обратного ссылочного индекса (ОСИ) для системы расчета тематических рангов Интернет-ресурсов. Указываются основные критерии оценки способов хранения ОСИ. Применительно к задаче хранения обратного ссылочного индекса рассматриваются различные способы хранения данных, их недостатки и достоинства. Описывается разработка нового способа хранения ОСИ, а также его реализация для файловой системы FAT32. Производится сравнение этих способов, анализ и выбор лучшего решения.

**Ключевые слова:** Интернет, ИПС, ссылочное ранжирование, обратный ссылочный индекс, система хранения, FAT32.

## Введение

Информационно-поисковые системы в настоящее время являются основным способом доступа к информации в сети Интернет [1]. Необходимость в службах, предоставляющих возможность поиска информации в Интернет, появилась сразу же после возникновения сети, и на данный момент по качеству поиска и количеству обработанных источников информационно-поисковые системы (ИПС) сети Интернет не имеют аналогов. Основным критерием качества работы поисковой системы является релевантность поиска (степень соответствия запроса и найденного, то есть уместность результата). Сложность задачи ИПС заключается в том, чтобы по пользовательскому запросу выбрать один десяток из многих миллионов результатов, чьи страницы удовлетворяют требованиям запроса. Для повышения релевантности поиска современные ИПС используют различные методы ранжирования. Они заключаются в том, что каждому ресурсу сети присваивается ранг, отражающий его важность. В той или иной форме методы ранжирования используют все

современные ИПС. При описании ранжирования принято разделять внешние и внутренние факторы. Внутренние – те, что зависят только от содержания самой страницы, внешние – все остальные [2]. При вычислении ранга документа может использоваться множество различных факторов, но на текущий момент главным является функция от рангов ссылающихся на него документов. Ранжирование, работающее по таким принципам, называется «ссылочным ранжированием» [3], при этом ранг сайта зависит от параметров входящих и исходящих ссылок. Ссылочное ранжирование имеет высокую трудоемкость, которая лавинообразно нарастает с увеличением числа ресурсов в сети и является сдерживающим фактором в ее индексации, но при этом позволяет поднять качество поиска на более высокий уровень.

## 1. Тематический ранг Интернет-ресурсов

В современном русском сегменте Интернета количество зарегистрированных доменных имен в 2010 году превысило 3 миллиона [5].

Все большее их количество регистрируется исключительно с целью коммерческого использования. При этом, когда речь заходит о коммерчески прибыльных операциях, действует правило «все средства хороши». Многие сайты (сателлиты) не предназначены для того, чтобы их посещали пользователи – такие сайты предназначены исключительно для манипулирования выдачей ИПС с коммерческой целью. Чаще всего предоставленная на них информация не обладает какой либо ценностью для пользователя. Основная задача людей, делающих такие сайты, – добиться того, чтобы они были проиндексированы различными ИПС. Поэтому они могут быть найдены через ИПС по редким, а иногда и частым запросам и этим увеличат время, которое пользователь сети затратит на поиск нужной ему информации. Построение тематического ранга Интернета позволит оценивать ценность ресурса для пользователей в данной тематике, позицию ресурса в ИПС, которая определяет количество людей, приходящих на сайт с использованием этой ИПС, а также ценность информации и ссылок с ресурса.

Интернет-документы и их ссылки можно представить в виде сети, получившей название web-граф, в которой документы — вершины, ссылки — дуги. Под моделью ссылочного ранжирования будем понимать функцию, согласно которой вычисляется ранг вершины сети. Для пресечения манипулирования выдачей все ИПС скрывают информацию об алгоритме ранжирования, в публичном доступе есть только общеизвестная информация о моделях ссылочного ранжирования. Для разработки собственного тематического ранга требуется модель ссылочного ранжирования. Описание моделей ссылочного ранжирования, а также новая модель, представлены в статье [6]. Для реализации ссылочного ранга с использованием

указанной модели потребуется решение системы уравнений, состоящей из уравнений вычисления ранга для всех вершин сети. Ее решение потребует информации обо всех ссылках, ведущих к Интернет-ресурсу. Системой, хранящей и предоставляющей такую информацию, является обратный ссылочный индекс (ОСИ) [3].

## 2. Обратный ссылочный индекс

ОСИ представляет собой базу данных с информацией обо всех значимых ссылках, их источниках и приемниках в сети Интернет. Особенность ОСИ состоит в том, что он оптимизирован для поиска всех ссылок для приемника. Для составления ОСИ необходимо посетить все документы в сети Интернет и записать информацию о ссылках в ОСИ. Индекс может достигать огромных размеров, при этом он должен обеспечивать высокую скорость записи, поиска и извлечения данных, а также возможность их распределенного хранения и параллельной обработки. Индекс – одна из самых сложных функциональных частей поисковой системы, от него во многом зависит производительность всей системы [3]. К примеру, ИПС «Google» располагает данными о 8 миллиардах документов и обрабатывает более 40 миллиардов запросов в месяц [4]. Статистические исследования показывают, что число сайтов в сети Интернет растет экспоненциально (Рис. 1). Следовательно, сложность проблем сбора и хранения ОСИ будет стремительно возрастать.

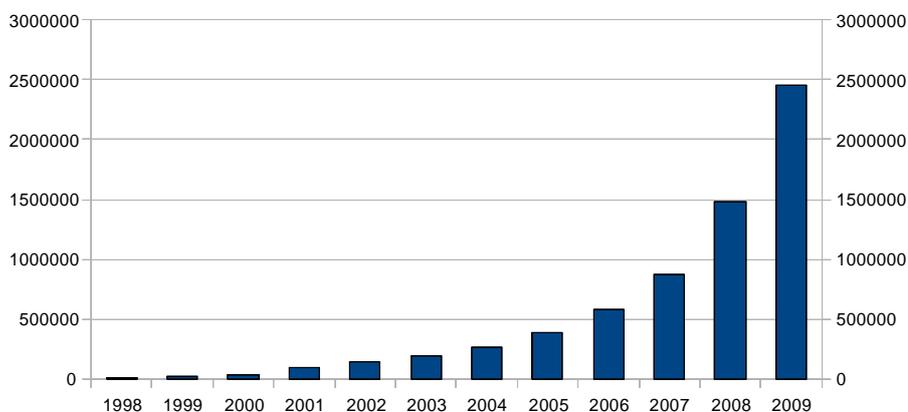


Рис. 1. Динамика роста количества доменов в рунете по годам [5]

### 3. Способы хранения ОСИ

Хранение ОСИ – одна из важнейших задач системы ссылочного ранжирования. От скорости записи данных в ОСИ зависит скорость его сбора и, как следствие, актуальность полученной информации. От скорости доступа к данным ОСИ зависит скорость построения ссылочных рангов. Для хранения ОСИ можно использовать различные способы организации массового хранения данных. Рассмотрим некоторые из них.

- Хранение данных в реляционной БД с использованием классической реляционной СУБД. Данные хранятся в едином файле БД. Для ускорения доступа к данным необходимо строить и, по мере поступления данных, обновлять индексы [7].

- Хранение данных в однофайловой БД, специально разработанной для данной задачи – простом бинарном файле с пользовательской организацией.

Чтобы обеспечить сохранение данных о ссылках, система хранения информации, в первую очередь, должна обладать возможностью массового параллельного добавления данных. Критериями выбора системы являются:

- скорость записи и поиска данных: чем она больше, тем быстрее будет идти процесс ранжирования Интернет-ресурсов;

- возможность масштабирования – возможность подключения к системе дополнительных жестких дисков или серверов;

- устойчивость к программным и аппаратным сбоям – в системе допускаются единичные потери данных (ввиду большого количества доменов, потеря данных об одном из них повлияет на ранги остальных незначительным образом).

Реляционные СУБД очень удобны для разработки информационных систем с большим количеством информационных взаимосвязей, так как при составлении БД закладывается возможность делать различные сложные выборки и статистические расчеты. При решении данной задачи запросы должны быть максимально просты и быстры. В сложных запросах необходимости нет. При работе через СУБД необходимо создавать индексы и постоянно обновлять их

по мере поступления новой информации, что уменьшает скорость заполнения БД [7]. Реляционные СУБД, благодаря транзакционному механизму, устойчивы к большинству программных и аппаратных сбоев. Однако аппаратный сбой может привести к потере структурных данных в файле БД, следствием чего может стать потеря всей БД.

Метод хранения данных в файле БД, специально разработанной для текущей задачи, мог бы оказаться эффективным, если бы не следующие его недостатки.

- Отсутствие транзакционного механизма. При однофайловой организации может повлечь потерю всех данных из-за одного сбоя (программного или аппаратного).

- Высокая трудоемкость. Разработка подобного решения сравнима с разработкой собственной СУБД.

- Необходимость регулярно дефрагментировать дисковое пространство, файл индексов и сам файл БД.

- Отсутствие возможности простого масштабирования.

Рассмотрев доступные решения, можно сделать вывод, что способ хранения данных в БД, созданной с помощью РСУБД, подходит для реализации ОСИ. Тогда как использование способа хранения данных в однофайловой структуре не представляется возможным, ввиду перечисленных недостатков. Новый способ хранения должен обеспечивать высокую скорость выборки и добавления данных, должен обладать достаточной степенью отказоустойчивости и быть легко масштабируемым.

### 4. Новый способ хранения ОСИ

Идея нового способа хранения ОСИ заключается в том, что все ссылки на Интернет-ресурс сохраняются в отдельный файл на диске в том порядке, в котором они были найдены. В результате для получения выходной информации об Интернет-ресурсе из ОСИ нужно прочитать только один линейно организованный файл. Дерево из директорий, организованное с помощью хэш-функции, обеспечивает быстрый поиск файла на диске за счет индексов файловой системы [8]. Для обеспечения быстрой ра-

боты такого способа необходимо решить следующие задачи.

- Выбор файловой системы и ее конфигурации.
- Оптимизация времени доступа к файлу.

#### 4.1. Выбор и подготовка ФС

Для реализации метода хранения данных в файловой системе необходимо проявить подготовку, то есть создать разделы на жестком диске в формате определенной файловой системы. Исследование проводится с использованием операционной системы семейства Microsoft Windows. Поэтому для реализации хранения рациональным будет выбор файловой системы «FAT32» (Рис. 2), которая обеспечивает быструю скорость записи и чтения при небольших размерах кластера и относительно малых размерах разделов, в том числе, за счет отсут-

ствия механизмов контроля отказоустойчивости [9, 10].

Способ предполагает хранение большого количества небольших файлов (средний размер – 4 кБ), однако количество файлов в FAT32 ограничено количеством кластеров, а количество кластеров в разделе — 4177918. Если размер кластера — 4 кБ умножить на количество кластеров в разделе, то максимальный размер раздела составит примерно 16 ГБ, этого вполне достаточно для реализации метода.

Примерное количество доменов 2-го и 3-го уровней, на которые есть ссылки из русскоязычного сегмента сети, по собранной статистике — 8 млн. На каждый из этих доменов ведет в среднем 50 ссылок. Средний объем хранения информации об одной ссылке 100 Б. Итого, на один хранимый домен приходится по 5 кБ. Так как размер кластера — 4 кБ, округлив в боль-

Criteria	FAT32	NTFS
<b>Max Volume Size</b>	32GB for all OS. 2TB for some OS	2TB
<b>Max Files on Volume</b>	4194304	Nearly Unlimited
<b>Max File Size</b>	4GB minus 2 Bytes	Limit Only by Volume Size
<b>Max Clusters Number</b>	4177918	Nearly Unlimited
<b>Max File Name Length</b>	Up to 255 System	Up to 255 Unicode
<b>Unicode File Names</b>	Character Set	Character Set
<b>System Records Mirror</b>	Second Copy of FAT	MFT Mirror File
<b>Boot Sector Location</b>	First Sector and Copy in Sector #6	First and Last Sectors
<b>File Attributes</b>	Standard Set	Standard and Custom
<b>Alternate Streams</b>	No	Yes
<b>Compression</b>	No	Yes
<b>Encryption</b>	No	No
<b>Object Permissions</b>	No	Yes
<b>Disk Quotas</b>	No	No
<b>Sparse Files</b>	No	No
<b>Reparse Points</b>	No	No
<b>Volume Mount Points</b>	No	No
<b>Built-In Security</b>	No	Yes
<b>Recoverability</b>	No	Yes
<b>Performance</b>	High on small volumes Low on large	Low on small volumes High on Large
<b>Disk Space Economy</b>	Average	Max
<b>Fault Tolerance</b>	Minimal	Max

Рис. 2. Сравнение файловых систем FAT32 и NTFS [10]

шую сторону, получим что на каждый хранимый домен необходимо 2 кластера, то есть 8 кБ. Это не более 64 ГБ дискового пространства. В таком случае, для индекса достаточно использовать 4 раздела FAT32 по 16 ГБ.

#### 4.2. Оптимизация времени доступа к файлу

При поиске файла на диске по известному полному имени файла (включающему путь), используется внутренний индекс файловой системы, по которому файл находится за короткое время [8]. Так как выходной информацией ОСИ являются ссылки на указанный домен, то для каждого найденного (по ссылке) домена будет создан отдельный файл домена (далее файл), в который и будут записываться ссылки. Максимальный размер имени файла в FAT32 — 255Б, поэтому названием файла будет значение хэш-функции от названия домена.

Для ускорения работы индекса FAT32 файлы будут храниться в дереве директорий так, чтобы в одной директории было в среднем 200 файлов, а количество подкатегорий в категории и глубина дерева были минимальными. Для каждого файла будет построен путь вида «С1\С2\С3\С4\С5», где «Сn» — символ цифры, изменяющийся от 0 до 9 (в зависимости от значения хэш-функции MD5 от названия домена). Количество потомков в дереве директорий не будет превышать 100. Символ С1 обозначает номер раздела, привязанного к директории таким образом, что все поддиректории создаются в этом разделе. С1 изменяется в зависимости от количества разделов. Количество каталогов в пути определяет количество комбинаций, то есть общее количество каталогов, в которых будут храниться файлы (в данном случае с 4-мя разделами до 40000 конечных категорий). Система работает с двумя наборами разделов: «текущий» и «предыдущий». Сбор информации всегда ведется в «текущий» набор. При окончании сбора, «предыдущий» форматируется и становится «текущим», а «текущий» становится «предыдущим». Таким образом, в каждый момент времени (кроме 10-30 секунд замены и форматирования) «предыдущий» набор заполнен данными и готов к использованию.

За счет большого количества файлов достигается отказоустойчивость, в случае программ-

ных и большинства аппаратных сбоев пострадает лишь один из них. В некотором случае аппаратный сбой может привести к повреждению структурных данных файловой системы (файловой таблицы), в этом случае может быть утеряна информация о части файлов или каталогов, однако к потере всех данных в разделе может привести лишь значительное повреждение поверхности диска. Так как индекс регулярно регенерируется для сохранения его актуальности, частичные потери не окажут значительного влияния на работу системы. Простота масштабирования способа заключается в том, что для каждого обхода можно задать любой набор разделов, в том числе на разных серверах, например, с использованием технологии «сетевых дисков» операционных систем семейства Microsoft Windows.

При поступлении новых данных (ссылок), по хэш-функции от названия целевого домена определяется файл на диске, в котором будет храниться ссылка. Если файла еще нет, он будет создан, иначе информация о ссылке записывается в конец файла. Для получения ссылок на домен достаточно найти его файл на диске, используя хэш-функцию его названия, и считать из него информацию. Скорость поиска файла или подкаталога в каталоге FAT32 линейно зависит от количества элементов в этом каталоге (они хранятся в виде линейного массива) [11]. Скорость доступа к файлу можно оценить так:  $O(100 * n)$ , то есть  $O(n)$ , где  $n$  — количество каталогов в пути к файлу. Из этого можно сделать вывод, что скорость доступа к файлу при применении этого метода зависит, в основном, от скорости жесткого диска и почти не зависит от количества данных на нем. Так как выборка данных имеет смысл только тогда, когда индекс полностью построен, задача выборки во время построения не ставится.

#### 4.3. Сравнение

Из перечисленных способов хранения данных для хранения ОСИ подходят: способ, использующий классическую реляционную СУБД и предложенный способ хранения ОСИ.

Проведем сравнительное тестирование этих двух способов. Основная задача хранения ОСИ состоит в том, чтобы обеспечить высокую ско-

рость записи информации о ссылках на жесткий диск и поиска по ней для поддержания актуальности этой информации. Поэтому для сравнения стоит выбрать решение именно этих задач.

В качестве классической реляционной СУБД используем современную СУБД «Microsoft SQL Server 2008 R2». Реализация тестирования на этом продукте выглядит так:

- создание таблицы для хранения информации о ссылках;
- создание индекса для ускорения выборки;
- написание запроса добавления случайно сгенерированных данных;
- запуск запроса на циклическое выполнение в 4-х одновременно работающих потоках.

Реализация метода хранения ОСИ в файловой системе создана как программа на языке С#, выполняющая сохранение случайно сгенерированных данных на диск с использованием четырех одновременно работающих потоков.

Тестирование проводилось на стандартном 2-х процессорном сервере, с 8 ГБ оперативной памяти, с жестким диском SCSI со скоростью вращения 15000 RPM с одним разделом FAT32 на 16 ГБ в течение 20 минут. Результаты тестирования приведены в таблицах.

С увеличением количества записей в БД, созданной с помощью «Microsoft SQL Server», скорость поиска и записи данных значительно уменьшается. Скорее всего, это связано с тем, что при увеличении количества записей возрастает сложность индекса и это влияет на время его обновления. При росте количества записей в системе хранения, основанной на новом способе, производительность этой системы падает заметно меньше. Можно отметить, что скорость записи данных в системе, основанной на новом способе хранения ОСИ, при малом количестве записей ниже, чем при большом. Это связано с необходимостью создавать структуру каталогов, которая оказывается полностью созданной после добавления в систему хранения примерно 200 тыс. записей. В дальнейшем структура каталогов не модифицируется. Так как использование системы планируется для большого количества записей (до 400млн.), можно сделать вывод, что новый метод показал лучшие результаты тестирования при решении этой задачи.

Сравнение способов хранения ОСИ

	Операций записи в секунду при наличии информации в количестве примерно 150 млн. ссылок	Операций записи в секунду при отсутствии имеющихся записей
Microsoft SQL Server	16	688
Реализация нового способа	1984	1833

	Операций чтения в секунду при наличии информации в количестве примерно 150 млн. ссылок	Операций чтения в секунду при наличии информации в количестве 400 тыс. ссылок
Microsoft SQL Server	2650	6804
Реализация нового способа	5731	5964

	Объем дискового пространства, требуемый для хранения информации о ссылках на 8 млн. доменов. Из расчета 50 ссылок на домен.
Microsoft SQL Server	Не более 186ГБ
Реализация нового способа	Не более 64ГБ

## Заключение

Недостаток нового способа состоит в том, что его отказоустойчивость при программных сбоях ниже, чем у способа хранения на базе РСУБД. При использовании простых текстовых файлов в файловой системе FAT32 возможны потери данных при программных или аппаратных сбоях. Однако благодаря тому, что данные размещены в отдельных файлах, при большинстве сбоев пострадает лишь один файл и это окажет незначительный эффект на работу системы. Стоит отметить, что узкое место системы хранения ОСИ в недостаточной скорости записи жестких дисков. Следовательно, для ускорения работы этой подсистемы FAT32 разделы можно создавать на разных жестких дисках, в идеале каждый раздел на своем. В отличие от реляционных СУБД (как пример рассмотрен Microsoft SQL Server 2008), метод хранения данных в файловой системе обеспечивает пря-

мой доступ к файловой системе. Этим он избегает ненужных для текущей задачи работ, например, работ по контролю над целостностью данных (транзакционный механизм), построению индексов, контролю доступа и др. За счет этого при использовании описанного способа скорость записи и чтения данных выше, а объем занимаемого дискового пространства меньше. Новый способ хранения данных в файловой системе более подходит для реализации хранения ОСИ, чем указанные выше варианты, за счет простой масштабируемости, высокой производительности добавления и выборки данных, невысокой сложности разработки и достаточно высокой степени отказоустойчивости. Благодаря такому способу подсистема хранения ОСИ для системы расчета тематических ссылочных рангов может быть реализована в русскоязычном сегменте сети Интернет с использованием одного стандартного сервера.

## Литература

1. Aboba, Bernard. The Online User's Encyclopedia: Bulletin Boards and Beyond. Massachusetts : Addison-Wesley, November 1993. ISBN 0-201-62214-9.
2. Н.В., Евдокимов. Основы контентной оптимизации. Эффективная Интернет-коммерция и продвижение сайтов в Интернет. б.м. : 000 "И.Д. Вильямс", 2007. ISBN 5-8459-1095-1.
3. Brin, S. and Page, L. «The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine». In: Seventh International World-Wide Web Conference (WWW 1998). April 14-18, 1998, 1998 г., Brisbane, Australia.
4. Статья о Google в открытой энциклопедии. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Google>.
5. «Ссылочное ранжирование в Рунете», <http://www.rukv.ru/analytics-200703-runet-links.html>
6. Ширай М.А. Григорьев О.Г. Исследование ранжирования интернет-ресурсов и методов построения обратного ссылочного индекса. Сборник трудов ИСА РАН под ред. В.Л. Арлазарова "Обработка информационных и графических ресурсов". 2010 (в печати).
7. Дейт, К. Дж. «Введение в системы баз данных» - 8-е изд. Москва : «Вильямс», 2006. ISBN 0-321-19784-4.
8. Brian Jenkinson, Sammes, A. J. Forensic Computing: A Practitioner's Guide (Practitioner Series). Berlin : Springer. pp, 2000.
9. «Сравнение файловых систем» [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_file\\_systems](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_file_systems)
10. «Сравнение файловых систем», [http://www.ntfs.com/ntfs\\_vs\\_fat.htm](http://www.ntfs.com/ntfs_vs_fat.htm).
11. М. Руссинович, Д. Соломон. «Внутреннее устройство Microsoft Windows: Windows Server 2003, Windows XP, Windows 2000». — М.: Издательство Русская редакция, 2008. — С. 29-31; 83-82. — ISBN 978-5-469-01174-3.

**Григорьев Олег Георгиевич.** Заместитель директора ИСА РАН. Окончил Московский институт электронного машиностроения в 1980 году Доктор технических наук. Автор 35 печатных работ. E-mail: [olegg@polikvart.ru](mailto:olegg@polikvart.ru)

**Ширай Михаил Александрович.** Аспирант ИКТИ РАН. Окончил Московский государственный университет приборостроения и информатики в 2008г. Автор 5 научных публикаций. Область научных интересов: поисковые системы сети Интернет, параллельное программирование, ссылочное ранжирование. E-mail: [Michael.sheerai@gmail.com](mailto:Michael.sheerai@gmail.com).