

Исследование методов размещения и организации распределенного доступа к данным облачного хранилища системы дистанционного обучения*

И.П. Болодурина, Д.И. Парфёнов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный университет"

В рамках представленного исследования построена модель хранения и организации распределенного доступа к данным с использованием облачной платформы мультимедийных образовательных ресурсов, развернутых в системе дистанционного обучения. При этом основной задачей исследования является разработка алгоритмов и методов управления производительностью и оптимизация использования программных и аппаратных ресурсов.

1. Введение

В настоящее время обучение все больше связано с использованием информационных технологий, что в свою очередь требует разработки и активного применения мультимедийных ресурсов. Наиболее широкое распространение эти ресурсы получили среди сервисов, используемых при организации обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Лекции, семинары, форумы, а также интерактивное вещание образовательного контента активно применяются в процессе обучения. При этом инфраструктура таких решений должна обладать не только значительными аппаратными ресурсами для обеспечения необходимого качества предоставляемых услуг, но и масштабируемой и гибкой архитектурой, способной за короткое время произвести реконфигурацию ресурсов с учетом востребованности сервиса. Выполнение этого условия позволит эффективно распределять ресурсы между пользователями, что в свою очередь снизит затраты на обслуживание инфраструктуры.

Наиболее перспективными, в этом плане, являются технологии облачных вычислений. Они позволяют унифицировать доступ не только к конечным данным, но и к ресурсу в целом, что является очень важным при построении высоконагруженных приложений. Кроме того, стоит отметить несколько ключевых характеристик, показывающих перспективность внедрения облачных систем для организации массовых сервисов:

- эластичность – потребитель ресурсов самостоятельно может определять и изменять вычислительные потребности, такие как серверное время, скорость доступа и обработки данных, требуемый объем размещаемых данных;

- объединение ресурсов – возможность консолидировать несколько сервисов, используя одну и ту же аппаратную базу, управляя распределением вычислительных мощностей между потребителями в условиях динамической востребованности ресурсов.

Такой подход к организации ресурсов может быть использован для организации современных образовательных мультимедийных сервисов, применяемых как компоненты систем дистанционного обучения, таких как:

- цифровое телевидение (TV over IP - TVoIP);
- видео по запросу (Video on Demand - VoD);
- интернет-трансляции;
- вебинары;
- веб-конференции.

Однако, несмотря на универсальность решения, повсеместное внедрение сетевых мультимедийных технологий в образовательный процесс остается весьма затруднительным. Прежде

* Представленная работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», проекты № 14.В37.21.0621 и № 14.132.21.1801.

всего, это связано с построением самой инфраструктуры, обеспечивающей работу сервисов. Нами проведено исследование востребованности аппаратных ресурсов Оренбургского государственного университета, в ходе которого установлено, что:

- нагрузка на ключевые ресурсы носит периодический и неравномерный характер;
- одновременно происходят обращения к нескольким типам ресурсов;
- интенсивность обращения к каждому ресурсу может изменяться в зависимости от внешних условий;
- ввиду отсутствия распределения нагрузки между ресурсами при пиковой нагрузке оборудование не всегда позволяет обслужить все запросы;
- до 90% нагрузки предопределены, поскольку для доступа к ресурсам используется предварительная регистрация.

Кроме того, стоит отметить, что 80% ресурсов востребованы лишь в 20% времени. Так же нами установлено, что единой точкой агрегации трафика выступает система хранения данных (СХД), обеспечивающая обработку потока запросов, поступивших от потребителей мультимедийных образовательных услуг. Следовательно, эффективность работы всего мультимедийного сервиса, а так же качество предоставляемых им услуг напрямую зависит от производительности хранилища данных. Поэтому основной задачей представленного в настоящей статье исследования является разработка алгоритмов и методов управления производительностью системы хранения данных.

2. Постановка задачи и алгоритм решения

В рамках разработки консолидированного облачного сервиса для системы дистанционного обучения (СДО) нами проведен анализ мультимедийных ресурсов, задействованных при ее эксплуатации. Применение дистанционных образовательных технологий предполагает доступ к учебным материалам и образовательному контенту из любой точки, поэтому все сервисы построены как веб-приложения. Такой подход позволяет легко масштабировать решения в зависимости от потребностей пользователей, что весьма эффективно при использовании облачной инфраструктуры. Для исследования механизмов оптимизации аппаратных ресурсов нами разработана уровневая модель на основе базовых высоконагруженных подсистем:

- контроля знаний (уровень 1);
- предоставления учебных материалов (электронная библиотека) (уровень 2);
- трансляции и публикации видео и аудио материалов (видеопортал) (уровень 3).

Каждый из выделенных уровней подсистем СДО, предъявляет собственные требования к прикладному программному обеспечению, оборудованию и качеству обслуживания (QOS), что позволило провести моделирование с использованием многокритериальных показателей и как следствие создать базу знаний для управления распределением поступающей нагрузки.

Для повышения надежности и улучшения качества предоставляемых сетевых мультимедийных услуг требуется внедрение эффективных методов обеспечения распределения нагрузки аппаратно-программных ресурсов. Проанализировав интенсивность использования каждого из компонентов в системы дистанционного обучения, нами получен рейтинг востребованности ключевых ресурсов:

- канал связи;
- система хранения данных;
- система управления базами данных.

Для представленных в рейтинге ресурсов могут быть применены методы, позволяющие оптимизировать и повысить эффективность обслуживания запросов, поступающих от пользователей. При этом следует учитывать индивидуальные характеристики выбранного ресурса и алгоритмы его работы для обеспечения необходимого качества предоставляемого сервиса. В рамках данной статьи нами предложены методы распределения нагрузки и оптимизации использования ресурсов дискового пространства высоконагруженных хранилищ данных, используемых как компоненты облачной системы.

Как уже отмечалось ранее, ключевым элементом мультимедийных сетевых приложений, от которого зависит производительность и эффективность, является система хранения данных. Организация доступа и размещение данных имеют свою специфику, при этом не всегда воз-

можно использовать стандартные подходы, применяемые в большинстве систем хранения. Ключевым отличием хранилищ мультимедийных данных является неоднородность размещаемой информации (текстовые, аудио или видео данные), и как следствие разные подходы к организации доступа к ней. Помимо методов доступа к данным существенным является интенсивность обращения к тем или иным элементам, которая может быть получена с использованием внутрисистемных алгоритмов идентификации пользователей, что в свою очередь позволяет оценить востребованность и спрогнозировать нагрузку на устройства системы хранения. В связи с этим важным аспектом управления ресурсами системы, при значительном увеличении количества одновременных запросов, является грамотная организация процесса размещения и распределение элементов данных по устройствам [2,3].

Отличительной характеристикой облачных хранилищ является реконфигурируемость их структуры в зависимости от потребляемых ресурсов. Это в свою очередь позволяет внедрять алгоритмы оптимизации в плане размещения данных внутри дискового пространства, а также управлять изменением количества используемых системой устройств. При этом процесс оптимизации размещения не должен приводить к снижению качества обслуживания клиентов СХД, для чего в алгоритмах необходимо учитывать пропускную способность сети и максимальный объем данных, который можно передавать в один момент времени [4]. Кроме того необходимо учитывать текущую загрузку самих устройств, а также их расположение относительно друг друга и клиентов, подключаемых к ним.

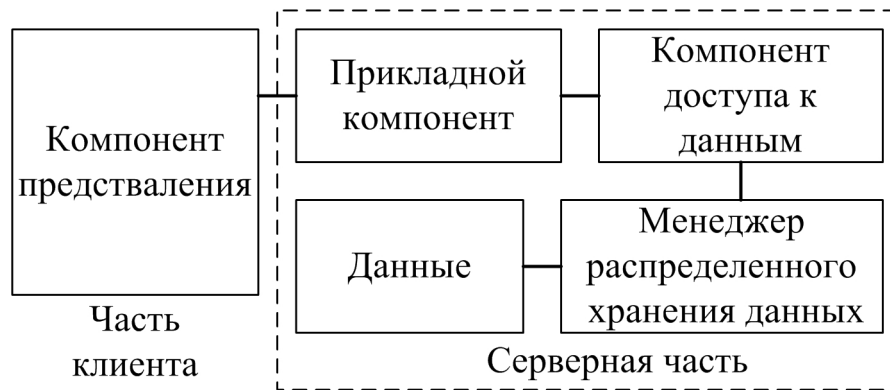


Рис. 1. Модель доступа к мультимедийным данным

Проведя анализ модели доступа к данным (см. Рис. 1) с учетом специфики мультимедийного сервиса, а также используя статистику поступления заявок в систему на основе типичной модели поведения клиента (пользователя), нами разработан алгоритм, позволяющий оптимизировать механизм доступа к данным. В зависимости от характера запроса выделены следующие условия работы алгоритма:

- доступ к динамическим (потокowym) данным (аудио и видео);
- доступ к статическим данным (текст, документы, архивы).

Для оптимизации механизмов доступа к данным необходимо построить общую модель требований пользователей к системе хранения. Пусть $R=(U,M,Q)$, где $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ – множество пользователей; $M = \{m_1, m_2, \dots\}$ – множество уникальных элементов данных, размещаемых на устройствах хранения. При этом минимальной единицей данных m_i будем считать файл, имеющий обязательное свойство h – размер.

Для обеспечения безопасного хранения данных и балансировки нагрузки между устройствами хранения определим функцию распределение элементов данных, для этого введем множество $M_c = \{m_1^{j_1}, m_1^{j_2}, m_1^{j_3}, \dots, m_2^{j_1}, m_2^{j_2}, m_2^{j_3}, \dots\}$, где $m_i^{j_k}$ – k -я копия элемента размещаемых данных (m_i) на j_k -м устройстве хранения, при условии $k \geq 3$ (не менее трех копий минимальной единицы хранения на различных устройствах).

Тогда функция распределения элементов данных по устройствам хранения принимает вид $P: M_c \rightarrow D$.

Исходя из изложенного выше, запишем требование пользователя к элементам данных. $Q: U \rightarrow X \subseteq M_c$, где X – множество данных запрошенных множеством пользователей U . Тогда хранилище данных можно записать в виде кортежа $S=(M_c, D, P, L, C, R, G)$, где

$D = \{d_1, d_2, \dots\}$ – множество устройств хранения;
 $L = \{l_1, l_2, \dots\}$ – множество значений характеризующее загрузку каждого устройства хранения (количество одновременных обращений пользователей к конкретному устройству);
 $C = \{c_1, c_2, \dots\}$ – множество значений, характеризующее объем каждого из устройств в хранилище;
 $G \in \mathbb{N}$ – натуральный коэффициент, характеризующий географический (топологический) приоритет использования хранилища.

Как правило, для крупных облачных структур используются консолидированные хранилища, состоящие из ферм, объединяющих несколько хранилищ в единый массив. Представим его как $S_{\text{farm}} = \{S_1, S_2, \dots\}$.

Так как характеристики требований пользователей меняются во времени, преобразуем кортеж требований $R(t) = (U, M_c, Q(t))$. Тогда $Q(t): U \rightarrow X \subseteq M_c$ – требования пользователя к элементам данных, меняющиеся во времени. Так как кроме активности пользователя изменяются свойства хранилища, запишем кортеж хранилища в зависимости от времени $S(t) = (M_c(t), D(t), P(t), L(t), C, R(t), G)$, где

$D(t) = \{d_1, d_2, \dots\}$ множество устройств хранения, меняющихся во времени, таких что $\forall t, D(t) > 0$;

$P(t): M_c \rightarrow D$ – функция распределения элементов данных по устройства хранения, меняющаяся во времени.

При этом для оптимизации затрат на аппаратные ресурсы и сокращения одновременно используемых устройств введем кортеж отношений $S_{\text{cloud}}(t) = \{S(t), D(t), D_{\text{use}}(t)\}$, где $\forall t, D_{\text{use}}(t) \subseteq D(t)$ множество устройств хранения используемых в масштабируемом хранилище S в момент времени t . Кроме того, при масштабировании хранилища и миграции данных должно выполняться условие $\forall t, i, j \ i \neq j \Rightarrow D_i(t) \cap D_j(t) = \emptyset$, т.е. при миграции данных хранилища не должны использовать одни и те же устройства. Это позволит как гарантировать скорость обработки информации, так и обеспечить приемлемое время реконфигурации.

Таким образом, для минимизации количества одновременно используемых устройств хранения, в рамках одного масштабируемого хранилища, и максимизации количества обработанных запросов пользователей в единицу времени введем целевую функцию вида:

$$\sum_{i=1}^N P_i(t) \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^N L_i P_i(t) R_i(t) \rightarrow \max.$$

Как правило, для распределения нагрузки и повышения эффективности работы масштабируемых хранилищ, помимо дублирования и перемещения данных между устройствами так же применяют систему кеш-областей (массивы устройств, обеспечивающих возможность быстрой обработки операций чтения/записи), построенных с использованием твердотельных SSD накопителей или больших объемов оперативной памяти [5]. Однако, алгоритмы и методы использования таких ресурсов недостаточно эффективны. Чаще всего устройства кеш-области заполняются наиболее востребованными данными, при этом не учитывается модель поведения пользователя. Как правило, при обращении к мультимедийному сервису клиент отправляет последовательно несколько запросов для получения данных. В рамках мультимедийного образовательного сервиса можно предсказать набор запрашиваемых данных и порядок их получения, что позволяет построить прогноз и осуществить резервирование вычислительных ресурсов для решения поставленной задачи.

Используя вышесказанное, представим алгоритм, позволяющий оптимизировать доступ пользователя к мультимедийным данным.

Шаг 1. Получение входных параметров.

При регистрации нового запроса, выделяются узлы (устройства хранения, D), содержащие необходимые данные и анализируется их загрузка (L) и географический приоритет относительно клиента (G). Определяется тип (статические, динамические) и рейтинг востребованности запрошенных данных, составленный на основе статистики обращений.

Шаг 2. Обработка запроса.

Для статических данных, используя полученные на шаге 1 показатели (G,L), определяется оптимальный узел.

Для динамических данных осуществляется поиск необходимого элемента данных в кеш-области. Если он не найден, то производится процедура кеширования данных с оптимального узла, полученного с использованием показателей (G,L).

Далее, используя алгоритм поиска связей, учитывающий рейтинг востребованности ресурсов, формируется перечень элементов, которые могут быть запрошены клиентом в ближайшее время. Кроме того для эффективной работы алгоритма, также осуществляется поиск наименее нагруженных узлов системы, содержащих необходимые данные, что в свою очередь позволяет частично изолировать процесс кеширования от основных операций, производимых системой. Используя полученные данные, производится процедура кеширования. При этом количество элементов зависит от востребованности начальных данных и общей нагрузки на систему.

Шаг 3. Передача данных.

Запрошенные в текущий момент времени данные направляются пользователю из выбранного источника.

Шаг 4. Постобработка результатов.

По окончании работы алгоритма в базе данных хранимых ресурсов обновляется рейтинг востребованности использованных в обработке элементов.

3. Результаты вычислительных экспериментов

Предложенный алгоритм и модель требований положена в основу разработанного механизма балансировки нагрузки и распределения элементов данных по устройствам хранения. Разработанный симулятор модели системы хранения данных позволяет проводить исследование по установлению зависимости производительности от распределения данных в хранилище. Для оценки эффективности разработанного алгоритма нами проведено моделирование работы системы с различными параметрами. Одной из часто применяемых моделей является начальное размещение данных в единственном экземпляре на минимальном количестве устройств. При этом для всех устройств, в процессе исследования, установлено ограничение по максимальной производительности L. Эффективность работы алгоритма оценивается путем сравнения длины очереди из общего количества заявок, одновременно находящихся в системе, и числа отброшенных заявок. В результате моделирования выявлена значительная перегруженность узлов, что говорит о неэффективном распределении нагрузки (см. Рис. 2).

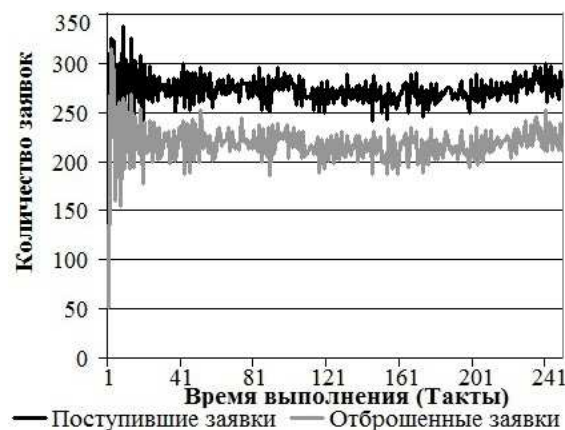


Рис. 2. Диаграмма обслуживания заявок при единственном экземпляре данных

При работе высоконагруженных систем часто применяют метод дублирования (резервирования) данных для обеспечения целостности и организации работы распределенных хранилищ. При этом количество копий каждого из элементов размещаемых может отличаться, что может вызвать дисбаланс потребления ресурсов. Тем не менее проведенное исследование с использованием симулятора СХД показало, что увеличение количества копий элементов размещаемых данных дает прирост производительности (количество одновременно обслуженных заявок) в среднем в 1,5 раза (см. Рис. 3).

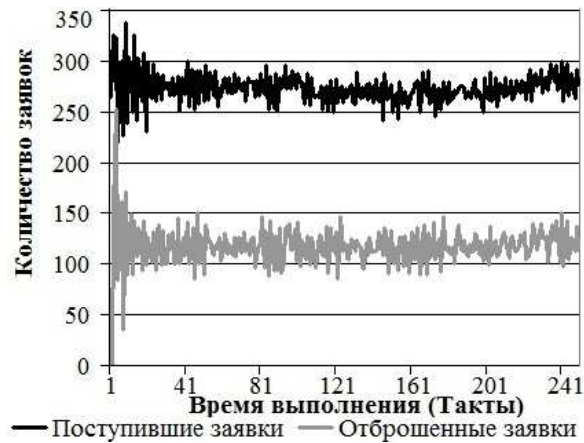


Рис. 3. Диаграмма обслуживания заявок при использовании минимального количества устройств с несколькими экземплярами данных

Однако, при использовании такого подхода к размещению данных отмечены следующие недостатки:

- постоянное масштабирование элементов данных и занимаемых ими устройств физически не всегда возможно;
- определенная часть устройств испытывает перегрузку, другая же остается ненагруженной, что говорит о неэффективности использования ресурсов хранилища.

Так же, такой подход противоречит одной из целей решаемой нами задачи – сокращение используемых ресурсов. В ходе моделирования нагрузки на хранилище нами получена закономерность, влияющая на производительность всей системы. Устройства, хранящие большие по объему (h) данные, остаются под нагрузкой дольше, чем устройства, на которых размещены данные малого размера. Большинство промышленных хранилищ анализируют только суммарный объем, используемого пространства на устройстве при выборе места первичного размещения элемента данных, что в последствии создает проблемы в ходе миграции и резервного копирования элементов на другие устройства. Для оптимизации размещения элементов в симулятор системы хранения данных нами добавлен балансировщик, производящий качественную оценку размещенных данных на устройстве по критерию объема дискового пространства занимаемого элементами данных, как отношение количества больших и малых файлов. При этом относительность оценки большого и малого размера файла производится как в отношении анализируемого устройства, так и в рамках всей системы хранения в целом. Проведя моделирование с использованием полученных показателей на минимальном количестве устройств, получено дополнительное увеличение производительности на 5-7% (в зависимости от входного потока данных и суммарного объема размещаемых данных) при условии хранения нескольких копий данных (см **Рис. 4**).

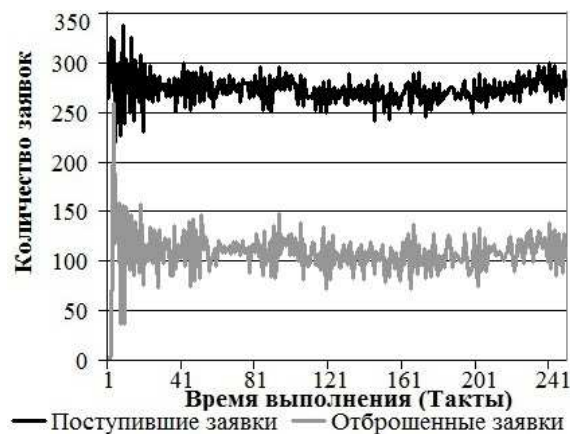


Рис. 4. Диаграмма обслуживания заявок при использовании минимального количества устройств с интеллектуальным размещением данных

Стоит отметить, что применение перечисленных методов может быть дополнено предложенным в данной статье алгоритмом интеллектуального кеширования. Для оценки эффективности результатов его работы, в качестве балансировщика нагрузки СХД, нами проведено комплексное моделирование с использованием всех описанных выше методов. В результате получено дополнительное увеличение производительности на 4-9% (в зависимости от начального метода размещения данных) (см. **Рис. 5**).

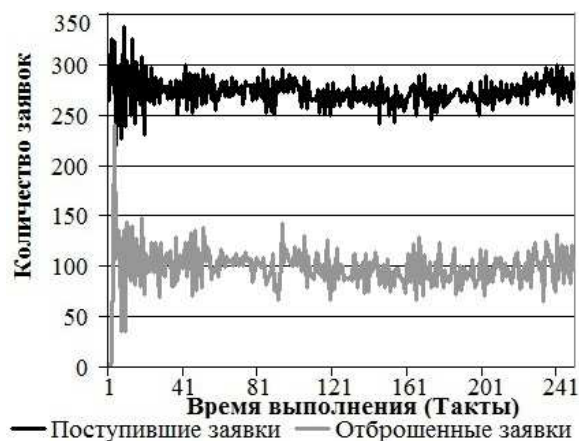


Рис. 5. Диаграмма обслуживания заявок при использовании минимального количества устройств с интеллектуальным размещением и кешированием данных

Заключение

Таким образом, оценивая общий результат работы алгоритма балансировки нагрузки и размещения данных при организации доступа к образовательным мультимедиа ресурсам можно получить прирост производительности от 5 до 15% по сравнению со стандартными средствами, что является весьма эффективным при большой интенсивности запросов. Кроме того, полученная целевая функция и построенная модель могут применяться для дальнейшего исследования эффективности использования аппаратных и программных ресурсов с целью повышения качества предоставления услуг в распределенных информационных системах дистанционного обучения.

Литература

1. Болодурина И.П., Решетников В.Н., Парфёнов Д.И. Распределение ресурсов в информационной системе дистанционной поддержки образовательного процесса Программные продукты и системы. -Тверь: НТП «Фактор», 2012. -3:-стр. 151-155.
2. Петров Д.Л. Оптимальный алгоритм миграции данных в масштабируемых облачных хранилищах // Управление большими системами. Вып. 30, 2010. -С.180-197.
3. Петров Д.Л. Динамическая модель масштабируемого облачного хранилища данных // Известия ЛЭТИ, #4, 2010. -С. 17-21
4. Проблема адекватной оценки производительности веб-серверов в корпоративных сетях на предприятиях ЦБП / О.В. Гусев, А.В. Жуков, В.В. Поляков, С.В.Поляков // Материалы 6-й научно-технической конференции «Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике».- Петрозаводск, 2004. – С. 84-87
5. Жуков А.В. Некоторые модели оптимального управления входным потоком заявок в интранет-системах. // Материалы 6-й научно-технической конференции «Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике».- Петрозаводск, 2004. – С. 87-90.
6. Бойченко И. В. Управление ресурсами в сервис-ориентированных системах типа «приложение как сервис» / И.В. Бойченко, С.В. Корытников // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники Вып. 1-2, 2010. -С. 156-160.