

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Лаздынь С. В., Телятников А. О.

Донецкий национальный технический университет, кафедра АСУ

Abstract

Lazdyn S., Teliatnikov A. The dynamic model of distributed database for computer information system. Analysis of methods of modeling distributed databases is provided. It is chosen and motivated criterion of efficiency of computer system, built with use distributed database. It is built simulation object-oriented model distributed database, taking into account dynamic processes, running in her.

Введение

Становление систем управления базами данных совпало по времени со значительными успехами в развитии технологий распределенных вычислений и параллельной обработки. В результате возникли системы управления распределенными базами данных (РБД). Именно эти системы становятся доминирующими инструментами для создания приложений интенсивной обработки данных.

Система распределенных баз данных состоит из набора узлов связанных вместе коммуникационной сетью. При этом каждый узел обладает своей собственной системой баз данных, все узлы работают согласованно. База данных физически распределяется по узлам компьютерной информационной системы при помощи *фрагментации* (горизонтальной или вертикальной) и *репликации* (тиражирования) данных [1].

Сегодня практически все крупнейшие производители СУБД предлагают решения в области управления распределенными ресурсами. Однако все эти решения поддерживают *ограниченные* функции построения неоднородных распределенных систем.

Среди многочисленных прототипов и научно-исследовательских систем следует упомянуть систему SDD-1, созданную в конце 70-х – начале 80-х годов в научно-исследовательском отделении фирмы Computer Corporation of America; систему R*, которая является распределенной версией системы System R и создана в начале 80-х годов фирмой IBM; а также систему Distributed INGRES, которая является распределенной версией системы INGRES и создана также в начале 80-х годов в Калифорнийском университете в Беркли.

Что касается коммерческих продуктов, то в настоящее время в большинстве реляционных систем предусмотрены разные виды поддержки использования распределенных баз данных с разной степенью функциональности. Среди таких систем наиболее известны система INGRES/STAR отделения Ingres Division фирмы The ASK Group Inc., система ORACLE фирмы Oracle Corporation, а также модуль распределенной работы системы DB2 фирмы IBM.

РБД стали в настоящее время объектом всестороннего исследования. При этом наряду с принципами конструирования и организации, алгоритмами действия большое внимание уделяется методам анализа качества работы РБД, а также исследованию закономерностей их функционирования и взаимосвязи качества работы с особенностями конструктивных и алгоритмических решений. Однако ввиду значительной сложности РБД как объекта формального описания и расчета до настоящего времени априорная оценка ожидаемого эффекта от тех или иных конструктивных и алгоритмических решений, а, следовательно, и от капиталовложений, необходимых для их реализации, обычно базируется на общих качественных соображениях, не подкрепленных расчетом. При этом влияние отдельных факторов оценивается интуитивно, и возможны грубые ошибки. Для практически

убедительного суждения о качестве работы РБД с позиции потребителя необходимо оценить, пусть с ограниченной точностью, функции распределения вероятностей параметров работы информационной системы (ИС).

Несмотря на то, что было проведено множество исследований, посвященных изучению различных аспектов функционирования распределенных систем, остаются нерешенными, недостаточно изученными, некоторые вопросы. Один из этих вопросов – динамические процессы в распределенных базах данных. Это связано, прежде всего, с тем, что в ранее проведенных исследованиях работа РБД рассматривалась в статике.

Краткий анализ методов моделирования РБД

Одними из первых для анализа характеристик и исследования РБД использовались *аналитические модели* [1, 4, 6]. В аналитических моделях поведение системы записывается в виде некоторых функциональных соотношений или логических условий. Однако это удается выполнить только для сравнительно простых систем. Для РБД, которая является сложной динамической системой, необходимо идти на упрощения представления реальных явлений, дающие возможность описать их поведение и представить взаимодействия между компонентами распределенной системы. Эти упрощения могут существенно повлиять на адекватность модели.

Наибольший интерес среди аналитических моделей распределенных баз данных представляет модель, предложенная Г.Г. Цегеликом [6]. В своей работе он рассмотрел несколько моделей оптимального размещения файлов распределенной базы данных по узлам вычислительной сети, отличающихся различными подходами к их построению, критериям оптимальности и выбранной топологией сети. Однако эти модели описывают работу РБД в статике и не учитывают некоторые особенности современных РБД, такие как фрагментация, репликация и распространение обновлений.

Основными методами расчета параметров работы ИС, используемыми в настоящее время, являются методы *теории массового обслуживания* и *имитационного моделирования* [4]. Однако методы теории массового обслуживания достаточно сложны и не могут использоваться для расчета временных характеристик в реальных РБД с большим числом узлов и каналов связи. Также при помощи теории массового обслуживания трудно предусмотреть все специфичные моменты работы реальных РБД. Поэтому для исследования предпочтительней использовать имитационное моделирование.

При имитационном моделировании динамические процессы системы-оригинала подменяются процессами, имитируемыми в абстрактной модели, но с соблюдением основных правил (режимов, алгоритмов) функционирования оригинала. Имитационное моделирование позволяет рассматривать процессы, происходящие в системе, практически на любом уровне детализации. При этом в имитационной модели можно реализовать практически любой алгоритм поведения системы.

При всех преимуществах данного подхода авторам неизвестны примеры использования методов имитационного моделирования для исследования параметров функционирования РБД в компьютерных информационных системах. Существуют коммерческие продукты имитационного моделирования сетей передачи данных. Эта задача тесно сопрягается с рассматриваемой нами и поэтому представляет некоторый интерес. Самая распространенная программа из них – система имитационного моделирования COMNET компании SACPProducts [5].

Выбор и обоснование критерия эффективности РБД

При проектировании компьютерных систем наиболее часто стремятся к минимизации нагрузки на сеть. Уменьшение сетевого трафика является безусловно важной задачей,

однако, на наш взгляд, не является определяющим фактором для систем с РБД. Это связано с тем, что основным функциональным назначением РБД является хранение, обновление и обработка распределенных данных. Для конечных пользователей значение имеет не загрузка сети, а время их ожидания ответов на запросы, направленные к РБД. Поэтому, в качестве показателя, характеризующего эффективность работы РБД целесообразно принять минимальное время, затрачиваемое компьютерной системой на обработку запросов пользователей. С учетом специфики РБД дополнительно необходимо учесть время, затрачиваемое системой на распространение обновлений, а также – время на повторное выполнение запросов, получивших отказы. Рассмотрим, как определяются эти три составляющие.

Общее время обработки запросов в РБД зависит от объема передаваемых данных по сети, от состояния каналов связи, от производительности, загруженности узлов обработки запросов и определяется следующим выражением:

$$T^1 = \sum_{i=1}^{n_1} T^1_i,$$

где T^1_i – время ответа на i -тый запрос;
 n_1 – общее количество запросов.

$$T^1_i = t_i^q + t_w^q + t_c^q + t_p^q + t_a^q,$$

где t_i^q – передача запроса по сети;
 t_w^q – ожидание обработки запроса;
 t_c^q – ожидание завершения выполнения дочерних запросов;
 t_p^q – обработка запроса;
 t_a^q – передача ответа по сети.

Если в РБД используется метод синхронного распространения обновлений то также необходимо учитывать суммарное время, необходимое для распространения обновлений в РБД. Время, необходимое для распространения обновлений зависит от количества копий объекта РБД и от того на каких узлах эти копии расположены.

Время, необходимое для распространения обновления на одну копию набора данных вычисляется по формуле:

$$T^2_i = \sum_{j=1}^N ((t_i^r + t_w^r + t_c^r + t_p^r + t_a^r) \cdot x_{ij}),$$

где t_i^r – передача обновления по сети;
 t_w^r – ожидание обработки обновления;
 t_c^r – ожидание завершения дочерних обновлений;
 t_p^r – обновление данных;
 t_a^r – передача подтверждения обновления по сети;
 N – кол-во узлов в системе;

$x_{ij}(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ – величины, определяемые по формуле

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если копия набора данных } i \text{ находится на узле } j, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

Тогда время необходимое для распространения всех обновлений в РБД будет вычисляться по формуле:

$$T^2 = \sum_{i=1}^{n_2} T^2_i,$$

где n_2 – общее количество запросов.

Суммарное время, необходимое для повторного выполнения запросов из-за отказов определим по следующей формуле:

$$T^3 = \sum_{i=1}^{n_3} T^3_i,$$

где n_3 – кол-во запросов невыполненных из-за отказов;
 T^3_i – время повторного выполнения i -того запроса;

Распределение данных влияет на число отказов следующим образом: чем выше степень реплицированности, тем надежнее система и тем меньше число отказов. Например, если одна из копий набора данных окажется временно недоступной, то данные могут быть получены из другой копии. Это соотношение справедливо для запросов на чтение, а также на обновление при асинхронном методе распространения обновлений. Если в системе используется синхронное распространение, то для запросов на обновление данных характерна обратная зависимость.

Таким образом, в качестве критерия эффективности РБД принимаем сумму общего времени ответов на запросы, времени необходимого для распространения всех обновлений и времени повторного выполнения запросов, невыполненных из-за отказов.

$$C = k_1 T^1 + k_2 T^2 + k_3 T^3 \rightarrow \min,$$

где k_1 – весовой коэффициент для времени реакции системы;
 k_2 – весовой коэффициент для времени распространения обновлений;
 k_3 – весовой коэффициент для времени повторного выполнения запросов, невыполненных из-за отказов.

Весовые коэффициенты k_i должны удовлетворять условию

$$\sum k_i = 1,$$

Величины k_i устанавливаются экспериментальным путем и позволяют привести значения T_i к размерности одного порядка.

Построение динамической модели РБД

Модель РБД построена с применением объектно-ориентированного подхода. При декомпозиции РБД были определены объекты, работу которых необходимо моделировать. Для каждого объекта выделены параметры, необходимые для исследования зависимостей выходных характеристик от входных воздействий, существенные с точки зрения выбранного показателя эффективности. Ниже приведены эти объекты с соответствующими параметрами.

- Узел РБД.
 1. Производительность.
 2. Общий объем дискового пространства.
 3. Объем свободного дискового пространства доступного для хранения данных.
 4. Очередь входящих сообщений.
 5. Очередь запросов ожидающих наборы данных.
 6. Очередь выходящих сообщений.
 7. Среднее время наработки на отказ.
- Канал связи между узлами.
 1. Узлы, соединяемые каналом.
 2. Максимальная пропускная способность канала.
 3. Нагрузка на канал.
 4. Среднее время наработки на отказ.

- Пользователь.
 1. Узел, на который поступают запросы пользователя.
 2. Набор приложений, с которыми работает пользователь.
 3. Интенсивность запуска приложений.
- Приложение.
 1. Приоритет приложения.
 2. Набор запросов, используемых приложением.
- Запрос.
 1. Вид запроса (на чтение или на запись). Это свойство необходимо только в том случае, если в системе используется метод асинхронного распространения обновлений.
 2. Узел, с которого поступил запрос.
 3. Обрабатывающий узел.
 4. Наборы данных, к которым обращается запрос.
 5. Количество транзакций необходимых для выполнения запроса.
 6. Приоритет запроса.
 7. Объем запроса.
 8. Объем ответа на запрос.
- Набор данных.
 1. Узел, с которого поступил запрос на выборку или обновление данных.
 2. Обрабатывающий узел.
 3. Количество транзакций необходимых для выполнения запроса.
 4. Объем запроса на выборку или обновление данных.
 5. Объем ответа на запрос.

Схема взаимодействия объектов модели РБД изображена на рисунке 1.

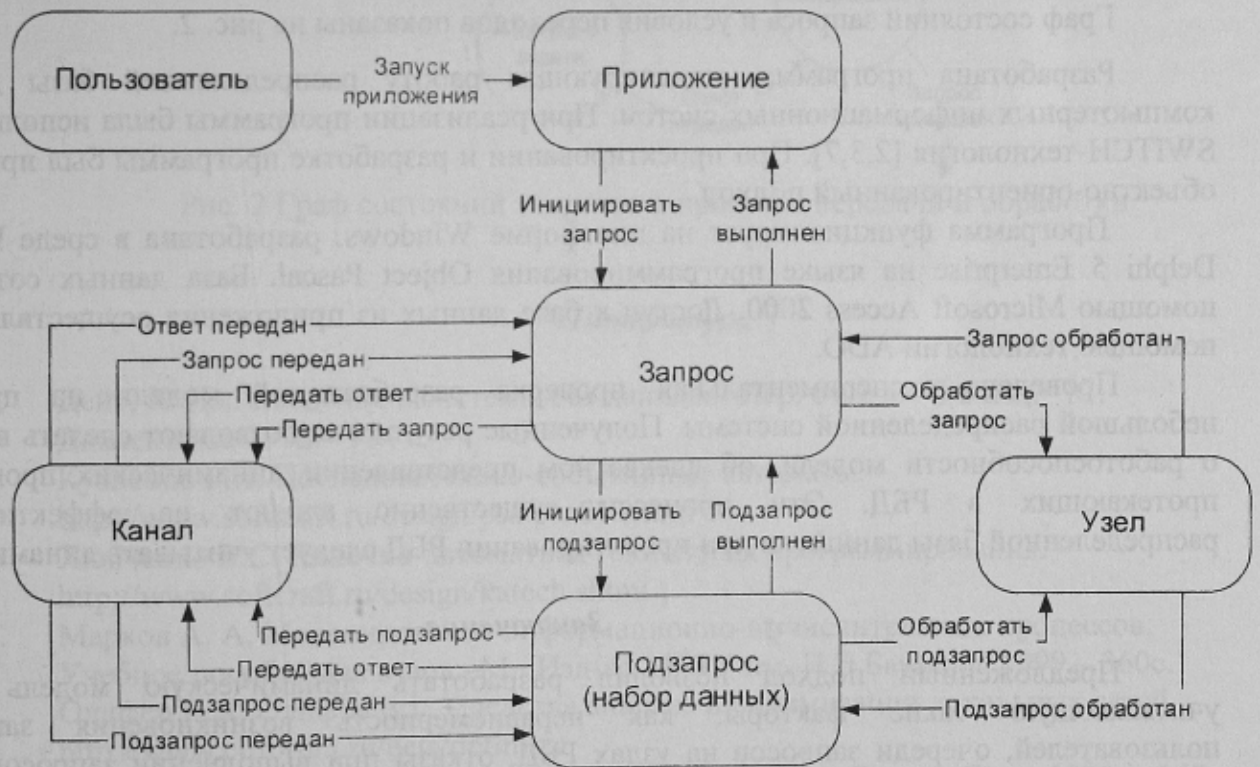


Рис. 1 Схема взаимодействия объектов РБД

Основным процессом в моделируемой системе является процесс передачи и обработки запроса пользователя.

Множество состояний, в которых может находиться запрос, приведено ниже.

1. Запрос появился в системе.
2. Передача по сети.
3. Ожидает обработки.
4. Ожидание выполнения дочерних запросов.
5. Обработка.
6. Передача ответа по сети.
7. Запрос завершен.

Условия переходов рассматриваемого объекта из одного состояния в другое следующие:

1. Запрос появляется в системе при запуске приложения пользователем.
2. После того как запрос появился, он сразу начинает передаваться по сети к обрабатывающему запросу. Если канал занят передачей другого запроса и или ответа на запрос, то по каналу одновременно передаются пакеты всех запросов и ответов.
3. После того как запрос передан на обрабатывающий узел, он становится в очередь запросов ожидающих обработки.
4. Когда узел освобождается, то проверяется условие атомарности запроса. Если запрос атомарен, то он начинает обрабатываться, иначе иницируются дочерние запросы на выборку или обновление данных находящихся на других узлах, а сам запрос становится в очередь ожидания данных.
5. После обработки ответ на запрос начинает передаваться по сети.
6. После передачи ответа запрос считается выполненным.

Граф состояний запроса и условия переходов показаны на рис. 2.

Разработана программа, моделирующая работу распределенной базы данных компьютерных информационных систем. При реализации программы была использована SWITCH-технология [2,3,7]. При проектировании и разработке программы был применен объектно-ориентированный подход.

Программа функционирует на платформе Windows, разработана в среде Borland Delphi 5 Enterprise на языке программирования Object Pascal. База данных создана с помощью Microsoft Access 2000. Доступ к базе данных из приложения осуществляется с помощью технологии ADO.

Проведена экспериментальная проверка разработанной модели на примере небольшой распределенной системы. Полученные результаты позволяют сделать выводы о работоспособности модели, об адекватном представлении динамических процессов, протекающих в РБД. Эти процессы существенно влияют на эффективность распределенной базы данных, и при проектировании РБД следует учитывать динамику.

Заключение

Предложенный подход позволил разработать динамическую модель РБД, учитывающую такие факторы, как неравномерность возникновения запросов пользователей, очереди запросов на узлах РБД, отказы при выполнении запросов. При этом в модели также отображаются такие специфические возможности современных СУБД, как фрагментация и репликация данных. Модель позволяет исследовать РБД компьютерных систем, имеющих сложную гетерогенную структуру, в которую входят большое количество узлов физически разнесенных на сотни и тысячи километров.

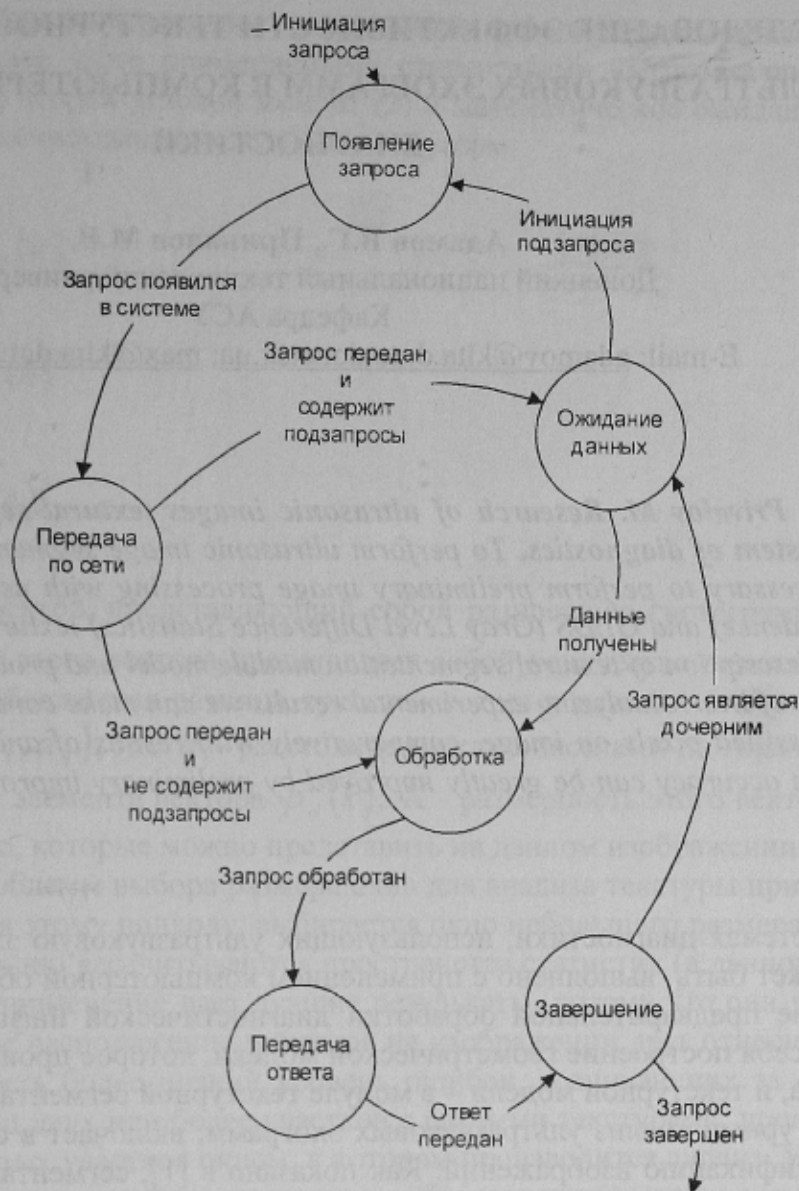


Рис. 2 Граф состояний запросов в процессе передачи и обработки

Литература

1. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных.: Пер. с англ.– 6-е изд.– К.: Диалектика, 1998.– 784 с.
2. Кузнецов Б.П. Последовательно-событийные автоматы. - <http://www.softcraft.ru/design/psa/psa01.shtml>
3. Любченко В.С. Конечно-автоматная технология программирования. - <http://www.softcraft.ru/design/katech.shtml>
4. Марков А. А. Моделирование информационно-вычислительных процессов: Учебное пособие для вузов.–М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999.– 360с.
5. Олифер Н.А.,Олифер В.Г. Средства анализа и оптимизации локальных сетей. - <http://www.citforum.ru/nets/optimize>
6. Цегелик Г. Г. Системы распределенных баз данных. – Львов.: Свит, 1990. – 168 с.
7. Шалыто А.А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления СПб.: Наука, 1998.