

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА p МЕДИАН ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

С.К. Сомов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: ssomov2016@ipu.ru

Ключевые слова: распределенные системы, оптимальное размещение реплик данных, метод p медиан

Аннотация: К характеристикам распределенных систем обработки данных предъявляется несколько основных требований. Такие системы должны обеспечивать приемлемый уровень сохранности и безопасности данных системы, быструю и надежную обработку запросов к этим данным. Эффективным методом выполнения данных требований является применение методов информационной избыточности в виде реплик массивов данных, размещенных в узлах системы. При этом должны учитываться стоимостные, временные и надежностьограничения на работу системы. В докладе рассматривается использование метода p медиан для близкого к оптимальному размещению реплик данных в узлах системы.

1. Введение

В последние десятилетия создается и используется все большее количество распределенных систем обработки данных (РСОД). Различные РСОД используются в научных целях, для управления разнообразными производствами, мобильными беспроводными распределенными системами, системами управления в области транспорта. К таким системам, особенно крупномасштабным, с большим количеством узлов и разветвленной системой каналов связи, предъявляются повышенные требования к надежности и безопасности их функционирования, обеспечению высокого уровня сохранности данных и к быстрой реакции системы на запросы к данным.

Репликация данных по узлам РСОД является эффективным и широко используемым методом реализации данных требований [1]. Согласно этому методу некоторое количество реплик размещается в нескольких узлах системы. Узлы для размещения реплик определяются с помощью специального алгоритма. Такие задачи имеют богатую историю исследований и до сих пор являются актуальным направлением исследований, что обусловлено большим множеством практических применений подобных задач. В докладе представлено описание и пример работы эвристического алгоритма распределения реплик массивов данных в узлах РСОД. Данный алгоритм это модификация известного метода нахождения p -медиан [2]. Он применяется для поиска оптимального размещения в узлах РСОД определенного количества реплик массивов данных. При решении задачи используется критерий минимума затрат на функционирование РСОД за единичный интервал времени.

2. Формальная модель РСОД, использующей реплики данных

Рассмотрим распределенную систему, работа которой базируется на компьютерной сети, топология которой задана графом $G = (X, U)$. В данном графе X – это множество вершин графа (узлов РСОД), а U – это множество дуг графа G (каналов связи между узлами РСОД).

Необходимо во множестве вершин X найти их подмножество X_p , состоящее из p вершин (узлов системы). Подмножество узлов должно быть таким, что при размещении в них p реплик массивов данных обеспечивается минимум затрат на работу РСОД. В тексте доклада используются следующие обозначения:

- $F_n^e = \|f_n^e\|$ и $F_n^u = \|f_n^u\|$ – векторы размерности N , содержащие значения частот запросов на чтение f_n^e и модификацию f_n^u данных в репликах, соответственно.
- $srl(x_n, x_j)$ – размер/длина кратчайшего пути между парой узлов (x_n, x_j) .
- d^e, d^u – затраты на передачу единицы данных по каналам связи РСОД в процессе обработки запросов к данным реплик.
- d^e, d^u – среднее количество единиц данных, которые передаются по каналам связи системы в процессе обработки одного информационного запроса – d^e или запроса на модификацию данных реплики – d^u . Для упрощения задачи примем, что $d^e = d^u$.
- $cst_S(x_n)$ – затраты на использование устройств хранения данных компьютера/сервера в узле x_n системы при хранении одной реплики за единицу времени.
- $cst_E(x_n), cst_U(x_n)$ – стоимостные затраты ресурсов РСОД на обработку в узле x_n одного информационного или одного запроса на модификацию данных реплики, хранящейся в этом же узле системы.
- $V = \{v_1, \dots, v_n, \dots, v_N\}$ – вектор «весов» узлов системы. «Вес» v_n узла x_n равен сумме $v_n = (f_n^e d^e + p f_n^u d^u)$ в которой p – это количество (медиа) узлов, хранящих реплики. Применительно к данной задаче вес v_n узла x_n имеет значение, равное среднему объему данных, которыми узел x_n обменивается с другими узлами РСОД при обработке всех запросов, генерируемых в данном узле за единицу времени.
- X_p – подмножество узлов РСОД, состоящее из p вершин множества X , в которых размещены реплики массивов данных системы.
- $md(X_p, x_n) = \min_{x_j \in X_p} srl(x_n, x_j)$ – минимальная дистанция (кратчайшее расстояние) между парой узлов, в которой один узел это узел x_n из множества X и второй – некоторый узел из множества X_p .
- $tn(X_p)$ – передаточное число, которое соответствует подмножеству X_p узлов системы. Передаточное число рассчитывается по формуле:

$$tn(X_p) = \sum_{n=1}^N v_n md(X_p, x_n).$$

Значение передаточного числа $tn(X_p)$ это сумма всех затрат системы на обмен данными между узлами из множества X_p и множества X в процессе обработки всех запросов к данным, сгенерированным в подмножестве узлов X_p системы, за единицу времени.

- Подмножество \tilde{X}_p узлов системы называется p медианой графа G при условии, что размещение реплик в узлах подмножества \tilde{X}_p обеспечивает минимум передаточного числа $tn(\tilde{X}_p)$:

$$(1) \quad tn(\tilde{X}_p) = \min_{X_p \subseteq X} [tn(\tilde{X}_p)]$$

- $CST(X_p)$ – это величина общих затрат на поддержку работы РСОД за единицу времени. Величина данных затрат зависит от распределения реплик данных X_p в узлах системы:

$$(2) \quad CST(X_p) = \sum_{j=1/x_j \in X_p}^p cst_S(x_j) + \sum_{j=1/x_j \in X_p}^p cst_E(x_j) \left(\sum_{n=1/x_n \rightarrow x_j}^N \lambda_n^e \right) + \\ + \sum_{n=1}^N \lambda_n^u \left(\sum_{j=1/x_j \in X_p}^p cst_U(x_j) \right)$$

Величина затрат $CST(X_p)$ равна сумме трех слагаемых: затрат на хранение реплик; затрат на обработку запросов к данным реплик (информационных и запросов на модификацию данных).

3. Задача и эвристический алгоритм поиска оптимального размещения реплик

Для решения различных задач и области логистики широко используется метод p медиан [2]. В данном докладе предлагается использовать этот метод для решения задачи оптимального распределения реплик массивов данных в РСОД разного назначения и масштаба. С этой целью был разработан оригинальный эвристический алгоритм, основанный на модификации метода p медиан [1]. Ниже приведено описание алгоритма и пример его работы.

Задача поиска оптимального размещения в узлах РСОД определенного количества реплик массива данных формулируется следующим образом. Задан граф $G = (X, \Gamma)$. Для этого графа определено множество пронумерованных вершин (узлов) и множество связывающих эти вершины дуг (каналов связи). Топология графа задана. Множество кратчайших путей между всеми парами узлов определено [3]. Для заданного графа требуется определить такое подмножество \tilde{X}_p , состоящее из p вершин, которое определяет минимальное значение $F_p(\tilde{X}_p)$ функционала данной задачи. Подмножество \tilde{X}_p содержит номера узлов системы, в которых будут размещены реплики массива данных. Значение функционала $F_p(\tilde{X}_p)$ определяется с использованием формулы:

$$F_p(\tilde{X}_p) = CST(\tilde{X}_p) + tn(\tilde{X}_p).$$

В этом функционале первое слагаемое $CST(\tilde{X}_p)$ – это величина стоимостных затрат на поддержку функционирования РСОД в единицу времени. Данные стоимостные затраты зависят от количества и способа распределения реплик массивов данных в множестве \tilde{X}_p . Второе слагаемое функционала $tn(\tilde{X}_p)$ – это передаточное число подмножества вершин \tilde{X}_p . Формулы для расчета значений $COST(X_p)$ и $\sigma(\tilde{X}_p)$ приведены выше (1) и (2).

Описание эвристического алгоритма размещения реплик массивов данных в узлах РСОД:

- a) В начале работы алгоритма задается количество p медиан, т.е. то количество узлов системы, в каждом из которых должна быть размещена реплика массива данных.
- b) Далее, на втором шаге из множества X всех узлов системы случайным образом выбираются номера p узлов системы, в которых будут размещены реплики. Номера этих узлов образуют множество X_p . Вершины (узлы) множества X , которые были отобраны во множество X_p , маркируются признаком «не протестирована».
- c) На третьем шаге вычисляется разница X_Δ двух множеств $\{X \setminus X_p\}$ номеров узлов графа (системы). При этом множество X_Δ будут составлять номера узлов, входящих во множество X , но не входящих во множество X_p . Среди элементов множества X_Δ случайно отбирается одна из его вершин - x_j , которая имеет маркер «не протестирована». Если во множестве X_Δ нет вершины с таким маркером, то алгоритм переходит к шагу g).
- d) Затем последовательно для каждой вершины x_i из множества X_p рассчитывается значение переменной Δ_{ij} , которое равно величине изменения значения функционала F_p после того, как вершина x_i из X_p будет заменена на вершину x_j , выбранную на шаге b):

$$\Delta_{ij} = F_p(X_p) - F_p(X_p^i), \text{ где } X_p^i = (X_p \setminus \{x_i\}) \cup \{x_j\}$$

- e) Запоминаем в переменной i^* номер той вершины из X_p , после замены которой на вершину x_j получается наибольшее изменение функционала, т.е. $\Delta_{i^*j} = \max_{x_i \in S} \Delta_{ij}$
- f) При этом возможны две ситуации:

- Если изменение таково, что $\Delta_{i^*j} \leq 0$, то вершина x_j не будет заменять никакую вершину во множестве X_p . При этом вершина x_j маркируется как «протестированная». Алгоритм выполняет переход к пункту b).
- Если изменение таково, что $\Delta_{i^*j} > 0$, тогда после замены вершины x_{i^*} во множестве X_p на вершину x_j происходит уменьшение величины функционала. В контексте рассматриваемой задачи это означает то, что величина затрат на обеспечение работоспособности РСОД уменьшается после такой замены вершин.

В этом случае производим обмен между собой вершин x_j и x_{i^*} и помечаем их обе как «протестированные».

В итоге получено новое измененное множество $X_p = (X_p \setminus \{x_{i^*}\}) \cup \{x_j\}$ номеров узлов системы, в которых необходимо размещение реплик массива данных. В результате получается улучшение значения функционала задачи.

Возврат к пункту b).

- g) Алгоритм закончил работу.

Представленный выше эвристический алгоритм решения задачи оптимального размещения реплик реализован в виде программного модуля (MS Visual Studio, C++).

4. Пример работы алгоритма

В данном примере представлены результаты работы алгоритма для РСОД из ($J = 12$) узлов и количестве медиан $p = 3$. В системе обрабатываются запросы 10-ти различных типов, отличающихся частотой λ_j^n генерации в узлах, объемом d_n данных, передаваемых по каналам связи. Для каждого узла вычисляются их «веса» v_j – объем получаемой и передаваемой информации при обработке запросов (используются параметры λ_j^n и d_n). Заданы стоимости $cost(x_i)$ хранения реплик в узлах и топология сети, для которой определена матрица кратчайших путей между всеми парами узлов.

В результате работы алгоритма найдено близкое к оптимальному размещение $\tilde{X}_p = (3,5,9)$ реплик при значении функционала $F_p(\tilde{X}_p)$ задачи, равного 4 750 единицам стоимости эксплуатации РСОД. Решение задачи представлено на рис. 1.

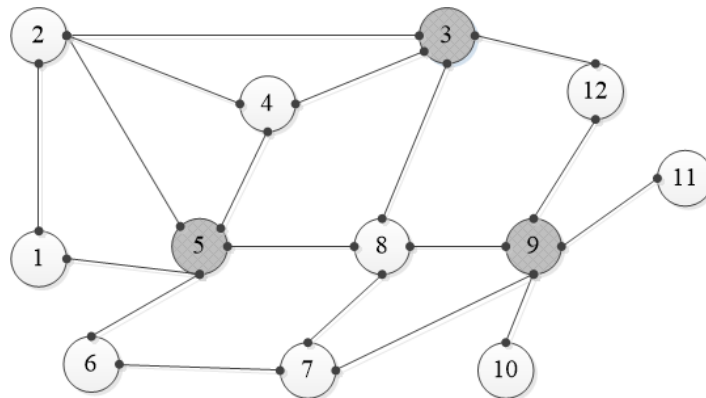


Рис.1. Решение задачи размещения реплик в распределенной системе.

5. Заключение

Доклад посвящен актуальной проблеме обеспечения высокого уровня сохранности информации в крупномасштабных системах обработки данных, эффективности обработки запросов к данным системы. Для решения данной проблемы предложено использовать использование информационной избыточности в виде реплик массивов данных. Предложен эвристический алгоритм поиска размещения заданного количества реплик в узлах РСОД. Найденное размещение реплик оптимизировано по критерию величины стоимостных затрат на поддержку работоспособности РСОД. В сумму таких затрат включены: затраты на хранение реплик массивов данных, затраты на использование каналов связи для обмена данными в процессе обработки запросов, возникающих в узлах РСОД. Эвристический алгоритм основан на модифицированном методе поиска p медиан. Представлен пример работы алгоритма, реализованного на языке программирования MS Visual Studio, C++).

Список литературы

1. Сомов С.К. Репликация как инструмент повышения надежности функционирования распределенных систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2018. № 3. С. 69-79.
2. Daskin M.S., Maass K.L. The p -Median Problem // Location Science. Springer, 2015. P. 21-45. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-13111-5_2 (дата обращения: 22.12.2023).
3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Мир, 1981. 322 с.