

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И РАЗМЕЩЕНИЯ РЕПЛИК ДАННЫХ В ЛОГИЧЕСКИХ КЛАСТЕРАХ

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 обработки данных, кластеризация распределенных систем, оптимальное размещение реплик массивов данных в кластерах.

Аннотация: Основным требованием, предъявляемым к крупномасштабным распределенным системам обработки данных, является обеспечение их эффективной, надежной и безопасной работы. Такие системы должны обеспечивать высокий уровень сохранности используемых данных, быструю и надежную обработку запросов. Широко применяемым методом выполнения данных требований является размещение в узлах системы нескольких реплик массивов данных. Такие задачи размещения имеют большую вычислительную сложность. Поэтому в работе предложен эвристический алгоритм разбиения крупномасштабных систем на логические кластеры меньшего размера, в которых затем производится размещение реплик массивов данных.

1. Введение

В последние годы десятилетия все большее распространение и развитие получают распределенные системы обработки данных (РСОД) разного масштаба и назначения. Такие системы используются для управления различными производствами, процессами, используются в научных целях, для управления мобильными беспроводными распределенными системами, системами управления в области транспорта.

К таким системам, особенно к системам с большим количеством узлов и сложной системой каналов связи, предъявляются повышенные требования к их характеристикам: высокий уровень сохранности используемых данных, надежность и безопасность их функционирования, требуемая скорость реакции систем на запросы к данным.

Широко используемым, эффективным и надежным способом реализации перечисленных требований является метод репликация массивов данных, используемых в РСОД [1, 2]. Суть метода репликации заключается в том, что некоторое количество одинаковых копий массивов данных (реплик) размещается в определенных узлах системы. Узлы системы для размещения реплик определяются в результате решения задачи выбора оптимального подмножества узлов сети для размещения реплик. Такие задачи имеют большую вычислительную сложность [3], особенно для крупномасштабных сетей.

В работе представлен метод повышения надежности и производительности крупномасштабных РСОД, состоящий из двух этапов. На первом выполняется кластеризация узлов системы, а на втором выполняется поиск оптимального размещения реплик массивов данных в узлах каждого из полученных кластеров. Разбиение процесса оптимального размещения реплик на два этапа снижает вычислительную сложность оригинальной задачи.

В постановке задачи размещения реплик по узлам сети и группировки узлов сети в логические кластеры применяется принцип «пространственной локальности» (spatial locality) [4]. Данный принцип означает, что наиболее часто генерируемые в узлах кластера запросы к данным должны маршрутизироваться в узлы с репликами, находящиеся в этом же кластере.

На первом этапе используется метод кластеризации для группировки узлов распределенной системы в непересекающиеся логические кластеры. Включение узлов в кластеры происходит в зависимости от стоимости использования каналов связи между узлами.

На втором этапе реплики массивов данных размещаются в узлах каждого из сформированных кластеров в зависимости от значения функции стоимости обработки запросов к репликам. При этом несколько экземпляров одной реплики могут размещаться в узлах разных кластеров.

Задача группировки узлов в логические кластеры это NP – сложная задача, которая требует больших вычислительных ресурсов и времени для ее решения традиционными методами. В докладе представлен эвристический алгоритм решения данной задачи, который позволяет уменьшить ее вычислительную сложность.

2. Эвристический алгоритм группировки узлов РСОД в логические кластеры

Предположим, что имеется компьютерная сеть, на базе которой функционирует РСОД. Компьютерная сеть состоит из множества K узлов: $N = \{N_1, \dots, N_K, \dots, N_K\}$. Топология сети представлена графом $G = (K, \Gamma)$. Предположим, что компьютерная сеть однородная и узлы (компьютера) сети имеют одинаковые характеристики. Задана матрица $CoC = \{CoC_{ij}\}$ затрат на передачу единицы данных между всеми парами узлов сети $(N_i, N_j), i, j = \overline{1, K}$.

Каждый узел системы распределяется только в один логический кластер. Одна реплика массива данных может быть размещена в узлах более одного кластера

Обозначим через $CC(n_i, n_j), i, j = \overline{1, N_s}$ матрицу (*communication cost*) со стоимостными затратами РСОД на передачу данных между любыми парами всех N_s узлов РСОД. Данные затраты распределенной системы пропорциональны расстоянию между этими узлами.

Решение о включении двух узлов сети n_i, n_j в один кластер принимается на основе значения булевой переменной $DVC(n_i, n_j)$ (*Decision Value of Clustering*), которое рассчитывается по формуле 1.

$$(1) \quad DVC(n_i, n_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } CC(n_i, n_j) \leq MCC \\ 0, & \text{если } CC(n_i, n_j) > MCC \end{cases}$$

Константа MCC в формуле (1) равна максимальной стоимости связи между узлами любого кластера системы. Затраты на связь между каждой парой узлов кластера системы не должна превышать этот лимит.

Описание эвристического алгоритма кластеризации:

Входные параметры:

N_s – количество узлов в сети.

$CC(n_i, n_j)$ – матрица стоимости связи между узлами.

MCC – ограничение (сверху) на стоимость связи между двумя узлами

Выходной параметр:

$NCD(i, j)$ – матрица с номерами узлов сети.

$NCD(i, j) = 1$, если пара узлов n_i, n_j может быть включена в один кластер

Шаги работы алгоритма:

Шаг1. Выполняются шаги 2-8 в цикле для номеров узлов $i = \overline{1, N_s}$.

Шаг2. Шаги 3-7 выполняются в цикле для узлов $j = \overline{1, N_s}$.

Шаг3. Если $j \neq i$ и $CC(n_i, n_j) \leq MCC$, то выполняется переход к Шагу 4.

В противном случае выполняется переход к Шагу 5.

Шаг 4. Присваиваем значение 1 элементу $NCD(i, j) = 1$. Переход к Шагу 6.

Шаг 5. Присваиваем значение 0 элементу $NCD(i, j) = 0$.

Шаг 6. Конец цикла «Если» (Шаг 3).

Шаг 7. Конец цикла «Для» (Шаг 2).

Шаг 8. Конец цикла «Для» (Шаг 1).

Шаг 9. Завершение работы алгоритма.

Для демонстрации применимости метода кластеризации рассмотрим результаты моделирования предложенного алгоритма кластеризации на примере фрагмента сети из 11 узлов сети.

Топология фрагмента сети представлена на рис. 1.

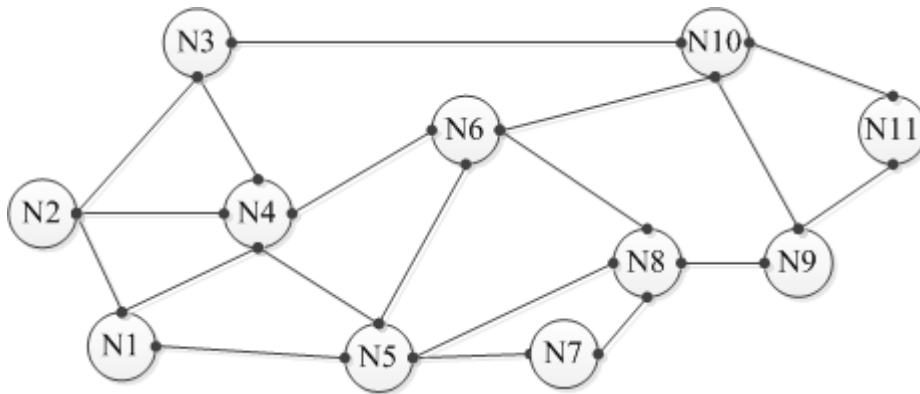


Рис. 1. Фрагмент распределенной системы

В результате работы алгоритма получена матрица CN с номерами узлов сети, которые могут быть сгруппированы в различные логические кластеры. Матрица CN представлена в виде таблицы 1.

Таблица 1. Матрица CN возможного включения узлов в кластеры.

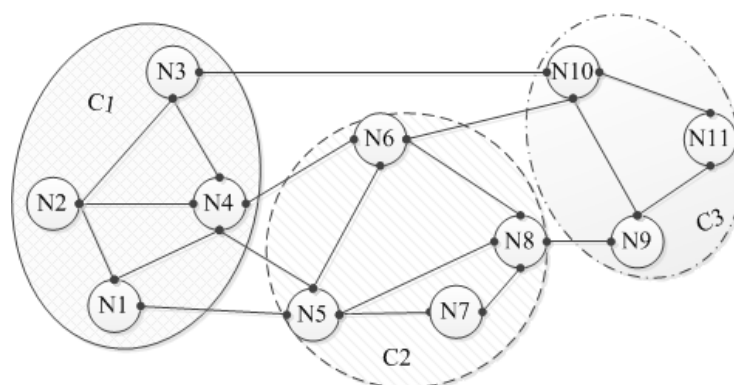
Узел	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
N1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
N2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
N3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
N4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
N5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
N6	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
N7	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
N8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
N9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
N10	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1
N11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

На основе данных из элементов матрицы CN и матрицы DTC формируются элементы матрицы NAC (nodes and clusters). Данная матрица определяет входение (1) или не входение (0) соответствующих узлов системы (первая строка матрицы) в логические кластеры. В таблице 2 (ниже) представлена матрица NAC, значения элементов которой получены в ходе работы алгоритма с использованием данных матрицы CN.

Таблица 2. Матрица NAC включения узлов в кластеры.

Кластер	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
C1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

На рисунке 2 представлена схема фрагмента сети с узлами, распределенными в три логических кластера.

**Рис. 2.** Распределенная система с логическими кластерами

После завершения процесса распределения узлов системы по логическим кластерам, в каждом из полученных кластеров решается задача распределения реплик

массивов данных в узлах этого кластера. Для решения этой задачи можно использовать различные эвристические алгоритмы [1,2,5]

3. Заключение

В данной главе также представлен метод кластеризации узлов распределенной системы, позволяющий значительно сократить вычислительную сложность задач распределения по узлам сети массивов данных, вертикальных и горизонтальных фрагментов таблиц и их реплик.

Использование данного метода имеет особую важность для крупномасштабных распределенных систем с большим и очень большим количеством узлов, каналов связей и глобальных запросов к данным системы.

Приведена формальная модель распределенной системы, в рамках которой предложен эвристический алгоритм группировки узлов распределенной системы в логические кластеры. Представлен пример работы алгоритма на фрагменте распределенной системы, состоящей из 11 узлов, сгруппированных алгоритмом в три кластера.

Подчеркнута важность представленного метода логической кластеризации узлов для актуальной задачи размещения массивов данных, таблиц данных и их реплик по узлам крупномасштабных распределенных систем. Данный метод позволяет существенно сократить вычислительную сложность задач размещения данных по узлам сети в случае крупномасштабных систем путем декомпозиции одной вычислительно сложной оптимизационной задачи на несколько более простых задач.

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. Микрин Е.А., Сомов С.К. Обзор моделей и методов обеспечения сохранности данных в распределенных системах обработки данных // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 4. С. 5-28.
3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Мир, 1981. 322 с.
4. Denning P.J. The Locality Principle/Communications of the ACM. 2005. Vol. 48, No. 7. P. 19-24.
5. Сомов С.К. Сохранность информации в распределенных системах обработки данных. М.: ИПУ РАН, 2019. 254 с.