

Анализ моделей вычислительного кластера методами имитационного моделирования

Сергей Астафьев

Май 2021

Аннотация

Современный вычислительный кластер состоит из нескольких отдельных компьютеров, соединённых высокоскоростной коммуникационной сетью. На практике возникает необходимость по управлению подобной вычислительной сетью в целях минимизации затрат на обслуживание, модернизацию и электроэнергию.

Вычислительный кластер можно описать как систему массового обслуживания, состоящую из нескольких серверов. В общем случае подобная система имеет сложную структуру, в которой несколько серверов объединяются в группу с общей очередью. Входной поток в общем случае имеет произвольное распределение, но в этой работе предполагается что он является регенерирующим. Заявка может занимать несколько серверов и может иметь приоритет, а система массового обслуживания может изменять скорость обслуживания с течением времени.

Аналитический анализ подобных систем массового обслуживания затруднён. Однако существуют эффективные методы анализа с помощью имитационного моделирования. В работе рассматриваются современные методы анализа таких систем массового обслуживания, приводятся достоинства и недостатки и описывается их программная реализация. Была проведена валидация некоторых полученных результатов путём сравнения со статистикой работы реального кластера.

Введение

С момента появления первых компьютеров потребности в вычислительной мощности постоянно увеличивались. В настоящий момент такие научные области, как климатология, астрофизика, физика высоких энергий и многие другие нуждаются в колоссальной вычислительной мощности для обработки данных.

Вычислительные кластеры являются одним из типов систем, решающих проблему с недостатком вычислительной мощности. Любой вычислительный кластер состоит из нескольких независимых компьютеров, называе-

мых вычислительными узлами, соединённых в высокоскоростную локальную сеть и представляет с точки зрения пользователя единый ресурс. С некоторыми допущениями вычислительным кластером также можно считать любой многоядерный или многопроцессорный компьютер. В упрощённом случае, все вычислительные узлы кластера однотипные, работают безотказно, являются одноядерными, а задержка на пересылку данных между узлами равна нулю. Кластер получает задания от пользователей, при этом задание может занимать некоторое (случайное) число узлов на одно и то же (случайное) время. Таким образом, несколько заданий могут исполняться параллельно, если они в сумме требуют число вычислительных узлов, не превосходящее общее число узлов кластера.

Как и любой компьютер, при своей работе вычислительный кластер потребляет определённую энергию, даже в том случае, если он простаивает. В большинстве случаев отключить кластер для уменьшения потребляемой энергии до нуля невозможно, из-за прихода новых заданий в случайные моменты времени. Помимо этого некоторое количество ресурсов тратится на техническое обслуживание кластера и периодическую модернизацию.

Затратами ресурсов на поддержание работоспособности вычислительного кластера можно управлять. На практике это обычно обозначает минимизацию затрат на обслуживание, модернизацию и электроэнергию, и максимизацию производительности.

Анализ производительности вычислительного кластера, в общем случае, является сложной задачей. Её аналитическое решение в общем затруднено из-за сложной структуры случайных процессов, протекающих в кластере, и поэтому целесообразным становится использование имитационного моделирования для анализа производительности кластера. Поэтому цель работы можно сформулировать следующим образом: разработка имитационной модели вычислительного кластера с управлением скоростью обслуживания.

Для её достижения потребуется решение следующих задач:

1. описание моделей кластера с разной детализацией;
2. анализ стационарных состояний моделей;
3. анализ переходных состояний моделей;
4. калибровка и валидация моделей вычислительного кластера.

Данная работа состоит из аннотации, введения, четырёх глав и списка литературы. В первой главе рассмотрены различные модели вычислительного кластера. Во второй главе описаны методы имитационного моделирования для анализа стационарных состояний этих моделей. В третьей главе представлены методы анализа переходных состояний моделей вычислительного кластера. В четвёртой главе описаны методы калибровки моделей для их применения на практике.

1 Описание моделей

В этой главе описываются различные модели вычислительного кластера. В первых разделах описываются простые модели, далёкие от реальности. В каждом последующем разделе описывается всё более сложная модель, учитывающая больше свойств реального кластера.

1.1 М/М/с модель

В этом разделе описывается простейшая модель вычислительного кластера.

Модель вида М/М/с описывает многосерверную СМО состоящий из c серверов. В этой модели заявки могут занимать только 1 сервер, скорости обслуживания постоянны, а входной поток является Пуассоновским. Каждая заявка требует случайный объём работы, распределённый по экспоненциальному закону. Очередь бесконечна и формируется по правилу FCFS.

1.2 GI/GI/с модель

В этом разделе описывается модель, подобная М/М/с, но с произвольным распределением времени обслуживания и временем между приходом заявок в систему.

Эта модель описывает вычислительный кластер состоящий из c серверов. Каждая приходящая заявка может занять только один сервер и требует случайно распределённого объёма работы с произвольным законом распределения. Входящий поток может быть произвольным регенерирующим. Очередь бесконечна и формируется по правилу FCFS. Модель М/М/с является частным случаем этой модели

1.3 Модель с заявками, занимающими несколько серверов

В этом разделе описывается модель, подобная GI/GI/с. Отличием этой модели является то, что в этой заявка может использовать больше 1 сервера.

1.4 Модель кластера со случайными переключениями скоростей обслуживания

В этом разделе описывается модель вычислительного кластера подобная GI/GI/с, в которой заявки некоторых классов могут использовать больше 1 сервера. Кластер имеет несколько режимов с разными скоростями и переключается между ними в случайные моменты времени.

2 Анализ стационарных состояний моделей

В этой главе описываются алгоритмы анализа стационарного распределения моделей вычислительного кластера.

2.1 Анализ нестационарности

В этом разделе описывается алгоритм, который позволяет статистически проверить нестационарность Марковской цепи. Статистика накапливается в процессе имитационного моделирования Марковской цепи.

2.2 Вычисление стационарного распределения

В этом разделе описываются подходы для оценки стационарного распределения системы массового обслуживания.

2.2.1 Регенеративный подход

В этом подразделе описывается метод получения доверительного интервала для стационарного распределения, с помощью разбиения статистики имитационного моделирования регенерирующего случайного процесса по моментам регенерации.

2.2.2 Генерация состояний СМО из стационарного распределения

В этом подразделе описывается имитационное моделирование системы массового обслуживания специальным образом, имеющим скорость сходимости к стационарному распределению больше чем \sqrt{n} . Алгоритм применим только к системам с регенерирующим входным потоком.

3 Анализ переходных состояний моделей

В этой главе описываются методы построения переходных состояний модели при заданном начальном условии. Классическим подходом для этой задачи является множественный запуск дискретно-событийной модели, с последующим объединением траекторий.

4 Калибровка моделей

В этой главе описываются подходы к калибровке моделей при их применении к задачам, возникающим на практике.

4.1 Оценка реальной скорости компонентов вычислительного кластера

В этом разделе описываются методы оценки матожидания и дисперсии скоростей работы различных компонентов вычислительного кластера.

4.2 Методы приближения неизвестных распределений через экспоненциальное

В этой главе описываются методы приближения неизвестных распределений через экспоненциальное, гипоекспоненциальное и гиперэкспоненциальные распределения.

Заключение

В этой работе представлено описание имитационных моделей для моделирования вычислительного кластера с управлением скоростью обслуживания и заявками, которые могут занимать при обработке больше одного сервера.

Было изучено общее устройство вычислительного кластера, а также применение методов имитационного моделирования моделирования к его моделированию. Проведена валидация моделей путем сравнения со статистикой работы реального кластера.

С помощью разработанной модели проведён численный анализ ряда конфигураций вычислительного кластера с управлением скоростью обслуживания в стационарном и переходном режимах.

В будущем возможно расширение методов на кластер, в котором заявки имеют приоритет.

Список литературы

1. Computing Networks: From Cluster to Cloud Computing / P. Vicat-Blanc [и др.]. — Wiley, 2011.
2. Fundamentals of queueing theory / D. Gross [и др.]. — Fifth edition. — John Wiley, Sons, 2018.
3. Discrete-Event System Simulation / J. Banks [и др.]. — 5th internat. — Pearson, 2013.
4. *Garimella R. M., Rummyantsev A.* On an exact solution of the rate matrix of G/M/1-type Markov process with small number of phases // Journal of Parallel and Distributed Computing. — 2018. — т. 119. — с. 172–178.
5. *Harchol-Balter M.* Performance modeling and design of computer systems: queueing theory in action. — Cambridge University Press, 2013.
6. *Robinson S.* Simulation: The Practice of Model Development and Use. — 2nd Edition. — MacMillan, 2014.
7. *Ross S. M.* Simulation, Fifth Edition. — 5-е изд. — Academic Press, 2012.