

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО УЗЛА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ИНТЕРФЕЙСОМ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ (MPI)

HIGH-PERFORMANCE NODE FAULT TOLERANCE USING PARALLEL PROGRAMMING MESSAGE PASSING INTERFACE (MPI)

I. Kamil

Summary. The article deals with the problem of providing fault tolerance of high-performance parallel computing node with MPI message transmission interface. To solve this problem, we consider the redundancy in the system and inside the high-performance node, node failure statistics, taking into account the causes of failures and the uniformity of node load. The limit of fault tolerance will be determined by the number of redundant components of the node, as well as the creation of favorable conditions for its operation.

Keywords: parallel programming, message passing interface, MPI, fault tolerance, high-performance nodes, parallel applications, checkpoint.

Камил Ихаб Абдулджаббар

Аспирант, Саратовский национальный
исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
Kamil.iehab@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обеспечения отказоустойчивости высокопроизводительного узла параллельных вычислений с интерфейсом передачи сообщений MPI. Для решения указанной проблемы рассматривается резервирование в системе и внутри высокопроизводительного узла, статистика отказов узлов, учёт причин отказов и равномерность загрузки узлов. Предел отказоустойчивости будет определяться количеством резервных компонентов узла, а также созданием благоприятных условий для его функционирования.

Ключевые слова: параллельное программирование, интерфейс передачи сообщений MPI, отказоустойчивость, высокопроизводительные узлы, параллельные приложения, контрольные точки.

В связи с развитием параллельных вычислений с использованием интерфейса передачи сообщений *MPI* возникает необходимость поддержания высокой надёжности вычислительной сети на основе обеспечения высокого уровня устойчивости к отказам высокопроизводительных вычислительных узлов [1].

Отказоустойчивость узла должна закладываться на этапе проектирования кластерной вычислительной системы, состоящей из большого количества таких узлов. Разработчик кластерной системы, наряду с отказоустойчивостью должен проектировать достижение таких показателей, как максимальная производительность, минимизация стоимости проекта, массогабаритные характеристики системы, минимальное энергопотребление [2]. Одновременное достижение таких показателей невозможно, поскольку улучшение одного показателя (в данном случае, отказоустойчивости) приведёт, скорее всего, к увеличению стоимости проекта, росту массогабаритных характеристик системы и энергопотребления, и, не обязательно, к росту производительности. Показатель отказоустойчивости узла будет определяться базовыми компонентами и характеристиками проектируемой кластерной системы, а именно: размещением и компоновкой кластера; параметрами всех вычислительных узлов, управляющего узла, файл-сервера и хранилища сообщений, сетевой инфраструктурой

и источниками бесперебойного питания. Размещение и компоновка кластера в стоечном исполнении более всего соответствует задачам его технического обслуживания. Формат стойки должен соответствовать формату узлов кластера (19 дюймов). В стойки на рельсах закрепляются узлы, головные узлы, файл-серверы и сетевые коммутаторы с учётом одного из двух стандартов крепежей: *Compaq* или *HP*. Кабельные органайзеры, подходящие к каждому узлу, должны обеспечить безопасную подачу питания и сетевых сигналов. Лицевая сторона стойки должна иметь перфорированные отверстия для полноценного и полного её охлаждения, что не обеспечивается стеклянными сплошными дверьми. К стойке должен быть доступ со всех сторон для человека, а для задней части стойки должно быть предусмотрено значительное расстояние от стены для рассеивания выделяемого аппаратурой тепла. Исходя из круга решаемых кластером вычислительных задач, должны быть определены быстродействие и количество ядер для процессора, системной шины, размеры и быстродействие оперативной памяти, кэш-памяти, параметры портов и периферийных устройств. С ростом быстродействия узлов растёт их энергопотребление [1]. Важно, с точки зрения отказоустойчивости узлов, иметь запас в несколько десятков процентов по быстродействию, энергопотреблению, объёму используемой памяти, а также в конструктивном исполнении иметь свободные слоты

для дополнительных модулей. Конструктивное исполнение кэш-памяти многоядерного процессора должно предусматривать самостоятельный канал доступа каждого ядра к системной шине процессора. Наличие локальных дисков позволит работать с данными, превосходящими объёмы оперативной памяти отдельных узлов и преодолеть в будущем возникающие, в связи с этим проблемы, приводящие к сбоям во всей системе. Следует предусмотреть в системе управляющий узел вычислительной системы для компиляции программ пользователей, подготовки данных для вычислений и их предварительную обработку и запуска задач. Управляющий узел, в целях отказоустойчивости, лучше не совмещать с вычислительным узлом, а предлагается оснастить дополнительной оперативной памятью и быстродействующим жёстким диском (рейд-контроллером) [1]. Процессоры управляющего и вычислительных узлов лучше иметь одного вида во избежание конфликтов при компиляции программных кодов. Иногда функции управляющего узла совмещают с файл-сервером, в котором предусматривается рейд-контроллер, повышающий скорость работы и отказоустойчивость системы, что обеспечивается запасными дисками, которые подключаются автоматически к рейд-контроллеру в случае выхода из строя рабочего жёсткого диска без приостановки работы всего массива. Следует обратить особое внимание, с точки зрения повышения отказоустойчивости узла, на состояние сервисной сети, которая обслуживает и контролирует исключительно вычислительные узлы, что позволяет в случае сбоев удалённо их перезагружать, управлять отключением их питания и т.д. Системная консоль через сервисную сеть информирует о сбоях и зависаниях узлов, что позволяет их дистанционно перезагрузить или, при необходимости, перезагрузить операционную систему. Наличие источника бесперебойного питания позволит сгладить кратковременные скачки и отключения напряжения и, тем самым, избежать сбоев и выходов из строя узлов. Своевременная техническая поддержка и качественное сервисное обслуживание позволит повысить отказоустойчивость узлов за счёт своевременного выявления и удаления сбойных элементов. Процесс гарантийного ремонта или обслуживания может занять длительный промежуток времени (до нескольких дней), во время которого функции заменяемого узла должен выполнять резервный (заранее установленный) узел или отдельные его резервные части, которые подвержены частому выходу из строя. Следует иметь набор запасных жёстких дисков, вентиляторов для охлаждения, модулей памяти, блоков питания и коммуникационных карт, количество которых определяется опытом практической эксплуатацией кластерной системы. В процессе практической эксплуатации кластерной системы, возникающие отказы и сбои можно преодолеть, опираясь на различные подходы, к которым относятся следующие:

1. параллельные вычисления продолжаются, несмотря на отказы и сбои в системе, за счёт собственных резервных компонентов;

2. повышение собственной отказоустойчивости компонентов, входящих в систему;

3. организация сбора и обработки статистической информации по отказам и сбоям для их прогнозирования в будущем [2].

В соответствии с *первым подходом*, благодаря деятельности управляющего сервера, сохраняются контрольные точки параллельных программ, выполняемых на узлах. При сбое или отказе параллельные вычисления восстанавливаются, начиная с последней контрольной точки. Однако, в случае отказа управляющего сервера, такое восстановление вычислений будет не возможным. Для исключения подобной ситуации следует произвести дублирование функций управляющего сервера на другом сервере.

В соответствии с *вторым подходом*, состояния узлов кластера сохраняются на общей (дублированной) системной дисковой памяти при этом предусмотрено также дублирование каналов связи между узлами и дисковой памятью.

В соответствии с *третьим подходом*, формируется основная (рабочая) и резервная подсистемы (узлы и компоненты узлов). Основная подсистема несёт нагрузку по выполнению параллельных вычислений, а резервная подсистема выполняет фоновые задачи. При сбое основного компонента, он заменяется резервным. Таким образом, на протяжении определённого периода эксплуатации вычислительной системы накапливается статистика отказов и сбоев элементов основной и резервной подсистем, что позволит заблаговременно осуществить их дублирование и резервирование. Данный подход предусматривает вмешательство управляющего сервера в процесс преодоления отказов и сбоев в вычислительной системе. Если не привлекать управляющий сервер в процесс устранения отказов, то можно все узлы параллельной системы последовательно связать в пары по принципу «ведущий-ведомый», причём последний «ведомый» будет «ведущим» узлом для первого «ведущего» узла. Роль «ведущего» узла будет заключаться в отслеживании работы «ведомого» узла, и в случае отказа последнего, будет продолжать его вычисления на другом резервном узле, если перезапуск сбойного узла не привёл к восстановлению его функционирования. Однако, роль управляющего сервера в повышении отказоустойчивости узлов сложно переоценить, поскольку на нём будет накапливаться вся статистика сбоев и отказов системы, а также перечень возможных причин, их

вызвавших. В последствие можно прогнозировать вероятности отказов узлов и их компонентов на основе статистической информации по режимам и длительности их эксплуатации, и применительно к фирмам-изготовителям. Отказы можно прогнозировать до их возникновения по косвенным признакам. К таковым относятся следующие: рост температуры процессора до критических значений; перепад или бросок напряжения питания на выходе блока питания или при входе в узел; регистрация дополнительных шумов или звуков при работе аппаратуры; замедление производительности системы или отдельного узла; ошибки при записи или чтении информации с диска и т.д. Сбои в работе параллельной вычислительной системы могут быть случайными и систематическими, вызываемыми как ошибками в работе различных устройств: каналов связи, процессоров, памяти; так и вредоносной деятельностью внешней стороны, например, в результате вирусной атаки или внезапного отключения электропитания т.д. В данных случаях, сво-

временное резервирование аппаратной, программной подсистем и источников электропитания, позволит избежать тяжёлых последствий восстановления вычислительного процесса кластерной системы, сохранить промежуточные вычисления и осуществить корректное завершение параллельно выполняемой программы.

Таким образом, в статье была рассмотрена проблема обеспечения отказоустойчивости высокопроизводительного узла при организации параллельных вычислений с интерфейсом передачи сообщений MPI. Для решения указанной проблемы рассматривается принцип резервирования, как в самой системе, так и внутри высокопроизводительного узла, учитывается статистика отказов узлов, причины отказов и равномерность загрузки узлов. Предел отказоустойчивости будет определяться количеством резервных компонентов узла системы, а также созданием благоприятных условий для его функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводин, В. В., Жуматий, С. А. Вычислительное дело и кластерные системы // Москва: НИВЦ МГУ, 2007. Режим доступа: https://books.google.ru/books?id=J__5QZtTdzwC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false/ (дата обращения 12.03.2017).
2. Bosilca G., Bouteiller A., Cappello F., Djilali S., Fedak G., Germain C., Herault T., Lemarinier P., Lodygensky O., Magniette F., Neri V., Selikhov A.: MPICH-V: Toward a scalable fault tolerant MPI for volatile nodes. In Proc. IEEE/ACM SC2002 Conf., Baltimore, Maryland (2002)/

© Камил Ихаб Абдулджаббар (Kamil.iehab@mail.ru). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Саратовский национальный исследовательский государственный университет