

Организация высокопроизводительных вычислений для исследования живучести энергетических инфраструктур

А.В. Еделев

Институт систем энергетики им.
Л.А. Мелентьева СО РАН
Иркутск, Россия
flower@isem.irk.ru

С.А. Горский

Институт динамики систем и
теории управления им. В.М.
Матросова СО РАН
Иркутск, Россия
gorsky@icc.ru

А.Г. Феоктистов

Институт динамики систем и
теории управления им. В.М.
Матросова СО РАН
Иркутск, Россия
agf@icc.ru

И.В. Бычков

Институт динамики систем и
теории управления им. В.М.
Матросова СО РАН
Иркутск, Россия
idstu@icc.ru

Аннотация— Целью исследования является разработка предметно-ориентированного подхода к организации высокопроизводительной вычислительной среды для исследования живучести энергетических комплексов, которые относятся к ключевым критическим инфраструктурам. В качестве ядра среды выступает инструментальный комплекс Orlando Tools, используемый для разработки и применения распределенного пакета прикладных программ для исследования живучести, интеграции разнородных высокопроизводительных вычислительных ресурсов в единую среду и управления вычислениями в этой среде. Результаты исследования продемонстрированы на примере решения практических задач оценки живучести энергетических инфраструктур.

Ключевые слова— критические инфраструктуры, системы энергетики, исследование живучести, анализ данных, высокопроизводительные вычисления

1. ВВЕДЕНИЕ

К критическим инфраструктурам относятся те системы, нарушение функционирования которых отрицательно влияет на государство, экономику и благосостояние общества. Энергетическая инфраструктура является одной из ключевых, так как она обеспечивает функционирование зависящих от нее прочих критических инфраструктур. Под живучестью энергетической инфраструктуры понимается ее свойство противостоять крупным возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением режима энергоснабжения потребителей, и восстанавливать исходное состояние системы или близкое к нему [1]. В работе [2] вводятся сводные показатели для количественной оценки живучести на основе формы и размеров её кривой. Пусть t – число периодов сценария возмущения, вектор $x^t = (x_1^t, x_2^t, \dots, x_m^t)$ описывает состояние энергетической инфраструктуры в период $t \in \overline{1, t}$, а показатель $h(X, t): x^t \rightarrow \mathbf{R}$ отображает состояние энергетической инфраструктуры x^t из множества $X = \{x^1, x^2, \dots, x^t\}$ в скалярное значение. Затем сводная метрика $w(X, [a, b]): (h(i_1), h(i_2), \dots, h(i_k)) \rightarrow \mathbf{R}$ отображает сегмент кривой устойчивости, который характеризует одно из измерений устойчивости, в

скаляр, $a = i_1, b = i_k, i_1 < i_2 < \dots < i_k, i_1, i_2, \dots, i_k \in \overline{1, t}$.

Например, участок кривой живучести, расположенный сразу после возмущения, отражает «пассивную» реакцию энергетической инфраструктуры на возникновение экстремальных условий в виде падения производительности. Этот показатель характеризует уязвимость как одно из измерений живучести энергетической инфраструктуры (рис. 1).

Целью анализа глобальной уязвимости является определение зависимости значения сводной метрики, показывающей наибольшее падение производительности энергетической инфраструктуры по отношению к числу отказавших элементов. Моделируются несколько серий сценариев возмущения с увеличивающимся в конечном итоге числом отказавших элементов энергетической инфраструктуры. Так как процессы моделирования возмущений для различных сценариев могут выполняться независимо друг от друга, то ускорение обработки всего множества сценариев возмущений достигается за счет использования параллельных и распределенных вычислений.

2. СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

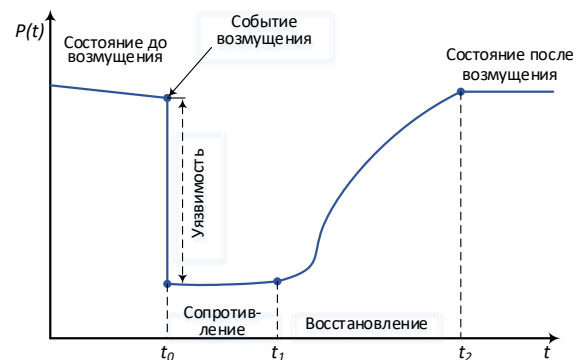


Рис. 1. Кривая живучести



Рис. 2. Среда для исследования живучести энергетических инфраструктур

Анализ известных литературных источников, в которых описывается использование высокопроизводительных вычислений для исследования живучести энергетической инфраструктуры, позволяет сделать следующие выводы. В рамках рассмотренных работ, как правило, решается специфическая задача из области исследования живучести конкретной системы энергетики, например, оценка возможности каскадного развития аварий в электроэнергетике [3]. Нет единого подхода к организации параллельных или распределенных вычислений. Выбор вычислительной среды во многом обуславливается размерностями задач и особенностями алгоритмов их решения. При этом зачастую осуществляется адаптация прикладного программного обеспечения к возможностям имеющихся программно-аппаратных средств (см., например, [4]).

В докладе представлена среда (рис. 2), ориентированная на исследование различных аспектов живучести как свойств энергетической инфраструктуры. В настоящее время с помощью данной среды реализованы различные виды анализа уязвимости, которая отражает «пассивную» реакцию энергетической инфраструктуры в виде падения производительности при возникновении экстремальных условий. В качестве ядра среды выступает инструментальный комплекс Orlando Tools [5]. Данный комплекс используется для разработки распределенных пакетов прикладных программ для исследования живучести энергетических инфраструктур, интеграции ресурсов разных вычислительных кластеров в единую среду и управления вычислениями в этой среде. Общим для различных пакетов исследования живучести является использование технологии In-Memory Data Grid (IMDG). IMDG-кластеры достигают высокой скорости обработки и большой степени масштабируемости за счет хранения данных полностью в оперативной памяти и распределения данных между несколькими серверами.

В качестве иллюстративного примера мы рассматриваем эксперимент по оценке масштабируемости вычислений при различных способах выделения узлов для вычислений и записи в базу данных Apache Ignite. Мы использовали 2, 4, 6 и 8 узлов НРС-кластера для сравнения следующих трех способов распределения узлов: W1 – выделение только одного узла для записи в базу данных Apache Ignite и распределение остальных узлов для вычислений; W2 – выделение равного числа узлов для записи в базу данных и узлов для вычислений; W3 – одновременное использование узлов для записи в базу данных и вычислений. Каждый узел имеет следующие характеристики: 2x16 cores CPU AMD Opteron 6276, 2.3

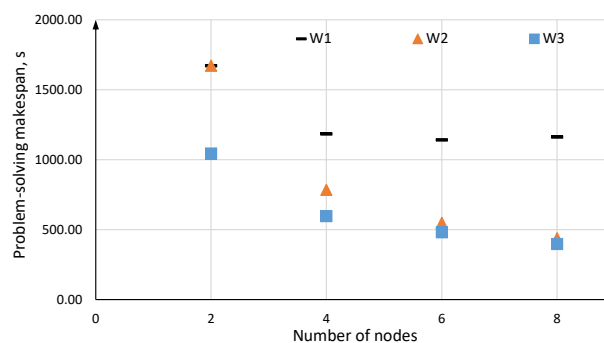


Рис. 3. Время решения задачи

GHz, 16 MB L3 cache, 4 FLOP/cycle, 64 GB RAM DDR3-1600. Результаты расчетов представлены на рис. 3. В качестве отправной точки рассматриваются 2 узла. Не наблюдается масштабируемости вычислений в отношении сокращения времени решения задач за счет увеличения числа узлов при использовании W1. Очевидно, что увеличение числа узлов с базой данных Apache Ignite сокращает время решения задач. Время решения задачи улучшается, когда число узлов с базой данных Apache Ignite равно числу вычислительных узлов согласно W2. Наилучшие результаты достигаются при использовании W3. Именно этот способ распределения ресурсов используется в Orlando Tools.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе предложен предметно-ориентированный подход к организации высокопроизводительных вычислений для исследования живучести энергетических инфраструктур с использованием технологии IMDG. Разработка и применение распределенных пакетов прикладных программ для исследования живучести осуществляется в Orlando Tools.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах» с использованием ресурсов Иркутского суперкомпьютерного центра СО РАН» [6].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воропай, Н.И. Надежность систем энергетики. (Сборник рекомендуемых терминов) / Н.И. Воропай. – М. : ИАЦ “Энергия,” 2007. – 194 с.
- [2] Poulin, C.R., Kane M.B. Infrastructure resilience curves: Performance measures and summary metrics. Reliability Engineering & System Safety. 2021. – Vol. 216. – P. 107926.
- [3] Dobson, I. Complex systems analysis of series of blackouts: Cascading failure, critical points, and self-organization / I. Dobson, B.A. Carreras, V.E. Lynch, D.E. Newman // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. – 2007. – Vol. 17(2). – P. 026103.
- [4] Gorton, I. A high-performance hybrid computing approach to massive contingency analysis in the power grid / I. Gorton, Z. Huang, Y. Chen, B. Kalahar, S. Jin, // 2009 Fifth IEEE International Conference on e-Science. – 2009. – P. 277-283.
- [5] Gorsky, S. Orlando Tools: Supporting High-performance Computing in Distributed Environments / S. Gorsky, R. Kostromin, A. Feoktistov, I. Bychkov // Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT 2020). – 2020. – P. 1-6.
- [6] ЦКП Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://hpc.icc.ru> (02.11.2022).