

УДК 004.75

С.А. КУЛАНОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина***МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В ГРИД
НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУР ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Проанализирована проблематика планирования задач и распределения ресурсов в ГРИД окружении. Разработан метод планирования потока задач и ресурсов на основе анализа и прогноза параметров функционирования ГРИД окружения. Определены входные и выходные данные для каждого этапа предложенного метода. Обозначены основные характеристики ГРИД окружения, которые влияют на процесс планирования задач.

Ключевые слова: ГРИД, планирование задач, GWA, распределение ресурсов, прогнозирование.

Введение

ГРИД (англ. grid – решетка, сеть) – система, связанная с функциями интеграции, виртуализации и управления службами и ресурсами в распределенной, гетерогенной среде, которая поддерживает совокупность пользователей и ресурсов (виртуальные организации) на совокупности традиционных административных и организационных доменов (фактических организаций) [1].

Open Grid Service Architecture определяет термин «задача» (job) в рамках ГРИД, как заданная пользователем единица работы, которую необходимо выполнить для достижения поставленной цели (получения результата). Задача в свою очередь является минимальной единицей, которой оперирует ГРИД система.

Анализ публикаций. Сложность общей проблемы планирования ресурсов относится к классу NP-полных [2, 3] задач, поэтому большинство авторов предлагают эвристические, вероятностные алгоритмы планирования в ГРИД [4 – 6]. В работе [7] была предложена стратегия распределенного планирования, в которой пропускная способность ГРИД ресурса была представлена как стохастический процесс, моделируемый Марковской цепью. В рамках проекта AppLeS [4] был предложен подход оценки времени выполнения задач, находящихся в очереди, на основе результатов предварительного прогона их модифицированной версии на множестве ресурсов. Данный подход требует предварительного профилирования и адаптации ГРИД окружения к AppLeS платформе, что является существенным недостатком. Аналогичный метод использован в рамках проекта PACE/Titan [8], предусматривающий создание шаблонов описания ресурсов и приложений с их последующей перекompilацией с использованием

дополнительных библиотек. Результаты, полученные в рамках AppLeS и PACE/Titan целесообразно использовать на ограниченном множестве ресурсов, например локальный кластер, или в рамках отдельного проекта, однако в условиях ГРИД окружения, применения данных подходов является затруднительным.

В последнее время широкое распространение получили стратегии планирования, основанные на прогнозировании времени выполнения программ [4] на основе полученного предыдущего опыта выполнения «подобных» задач.

Для повышения качества обслуживания задач в ГРИД ключевую роль играет прогноз метрик производительности, а именно время выполнения задач [9 – 11], время ожидания заявки в очереди [12, 13], пропускная способность сети, время передачи данных. Анализ данных работ показал, что целесообразно выделить три группы методов прогнозирования:

– Прогноз на основе пользовательских оценок. Классический подход, используемый в кластерных системах, полагается, что пользователь на основе апостериорных данных (опыта) о времени выполнения своей задаче, может самостоятельно спрогнозировать последующее время выполнения этой же задачи, но, например, с другими параметрами. Такой подход не приемлем для ГРИД, ввиду неопределенности для пользователя набора ресурсов и времени выполнения задачи.

Прогноз на основе профилирования приложений и ресурсов применяется в [4, 8], его недостатки были приведены ранее.

Прогноз на основе статистических методов используется в большинстве работ применяющих методы планирования на основе прогнозов [9 – 13] и основан на статистическом анализе истории харак-

теристик выполнения задач. Результаты исследований с использованием данного подхода показали его мощность, простоту и высокую степень точности полученных результатов.

Цель статьи – разработка метода планирования задач и распределения ресурсов в ГРИД системах основанного на процедуре прогнозирования показателей функционирования объектов ГРИД. Структура статьи: формализована проблема планирования задач и распределения ресурсов в ГРИД; проанализирована процедура прогнозирования параметров ГРИД; предложен метод планирования на основе процедур прогнозирования характеристик задач и ресурсов в ГРИД; рассмотрены и обозначены основные этапы метода планирования, а также входные и выходные данные для каждого из этапов; приведены общие рекомендации относительно применения данного метода.

1. Проблема планирования задач и распределения ресурсов в ГРИД

Планирование вычислений, т.е. определение очередности выполнения работ, также предполагает механизм назначения – распределения доступных ресурсов между работами. Поэтому кроме целевой функции планирования, необходимо учитывать характеристики потока задач и ресурсов.

Ресурсы (вычислительные, хранения, передачи и обработки данных, специализированное оборудование, программное обеспечение и т.д.), принадлежат различным административным единицам (виртуальным организациям), которые взаимодействуют между собой по средствам интернет технологий и на основании установленных правил. Принятие решения о скоординированном распределении множества задач на множестве динамических ресурсов в условиях большого количества правил планирования заданий и разделения ресурсов, принятых в рамках различных виртуальных организаций, формирует **основную проблему ГРИД вычислений.**

Рассмотрим проблему планирования задач и распределения ресурсов в ГРИД (рис. 1). Пусть ГРИД система состоит из N сайтов, где каждый сайт может содержать r_n количество однотипных ресурсов (вычислительных узлов); в систему за время t поступает j_n количество однотипных задач, где ta_n – время поступления n -ой задачи на выполнение, tw_n – время ожидания задачи n до начала времени выполнения te_n . Тогда суммой tw_n и te_n является среднее время нахождения задачи j_n в ГРИД системе. Пусть целевой функцией f процесса планирования будет минимизация времени нахождения задачи в системе, т.е.:

$$f_{j_n}(t) \rightarrow \min \{tw_n + te_n\} \quad (1)$$

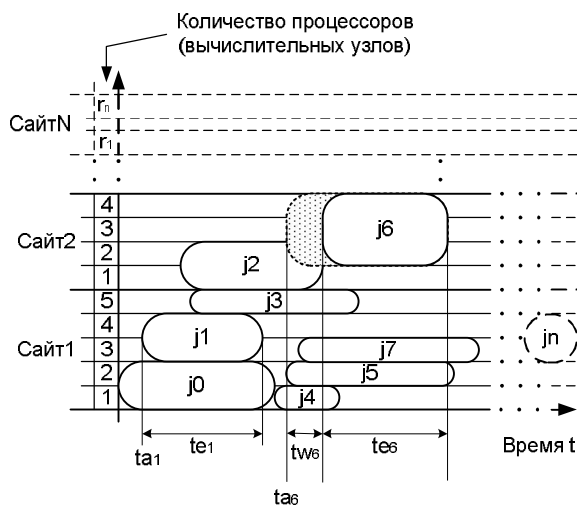


Рис. 1. Процесс планирования задач в ГРИД

На рисунке 2 приведена схема планирования задач по мере их поступления в систему, где вновь поступившая задач размещается на свободном ресурсе. Очевидно, что задача j_6 , требующая три процессора, может начать свое выполнения после освобождения всех необходимых ресурсов. Таким образом, результатом планирования является последовательность назначений $P = \{p_i, i=1,2,\dots\}$ множества задач $J = \{j_i, i=1,2,\dots\}$ на множество ресурсов $R = \{r_i, i=1,2,\dots\}$, т.е:

$$p = [R, J, te_n], p \in P \quad (2)$$

где te_n – время выполнения задачи, на протяжении которого ресурс считается занятым.

Предположим, что задачи j_0 - j_7 поступили в ГРИД систему за время Δt , причем в течение этого времени все ресурсы были заняты, поэтому задачи были поставлены в очередь, тогда планирование с целью минимизации времени нахождения задачи в ГРИД направлено на поиск необходимого множества ресурсов, на котором $\{tw_n + te_n\} \rightarrow \min$ (рис. 2), где t_{all} – суммарное время выполнения всех задач.

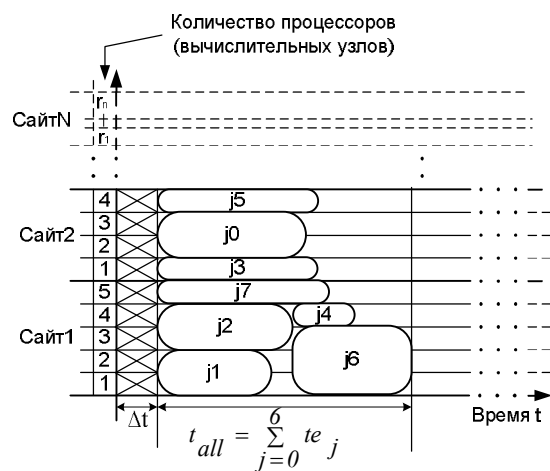


Рис. 2. Процесс планирования задач в ГРИД

Планирование на основе времени выполнения задач позволяет эффективно распределять ресурсы между задачами, однако в рамках рассмотренных примеров (рис. 1, 2) вводился ряд допущений, об однородности ресурсов и задач, а также их количестве на интервале времени t , априорном знании длительности времени выполнения задачи t_e . Очевидно, что в рамках планирования задач в ГРИД, рассмотренные допущения являются несостоятельными, поэтому входные параметры для процесса планирования, значения которых являются случайной величиной, могут быть получены приближенно, на основе прогнозов.

2. Разработка метода планирования задач на основе прогнозирования

В основу метода планирования положен принцип рассмотренный выше (2). Определим основные этапы метода планирования (рис. 3):

1. Выбор целевой функции планирования. Определение целей планирования, например минимизация времени выполнения задачи, равномерное распределение нагрузки на множество ресурсов.

2. Идентификация параметров метода планирования. Задача планирования является многопараметрической, где необходимо учитывать изменяющиеся во времени качественные и количественные показатели потока заданий и ресурсов. Например, для задач: а) время поступления, выполнения, ожидания в очереди, интенсивность (задач/время); б) местоположение: источник (пользователь), приемник (сайт, узел); в) качественные характеристики: тип задачи, требования к ресурсам (объем памяти, операционная система, системные библиотеки и т.д.). Для ресурсов: а) время: безотказной работы, восстановление после отказа, количество доступных вычислительных узлов; б) местоположение: сайт, вычислительный узел, уровень (глобальный, локальный), дисциплина обслуживания; в) качественные характеристики: производительность, пропускная способность канала передачи данных, объем памяти, операционная система, программное обеспечение и т.д.

3. Сбор и обработка исследуемых параметров. Определение интервала мониторинга, т.е. частоты фиксации значений, которая может изменяться в зависимости от требований к точности прогноза и прогнозируемому горизонту.

4. Описание способа хранения истории (базы знаний), где каждая запись (событие) хранит набор входных и выходных признаков (свойств), состоящих из имени и значения, которые могут быть представлены в номинальной или порядковой шкале, например (<username>:<user1>, <job_runtime>:<15>). Входной признак определяет условия, при которых про-

изошло событие, а выходной – что произошло в этих условиях.

5. Классификация и кластеризация признаков (свойств). На данном этапе производится выбор одного или группы входных признаков, на основании которых производится прогноз параметров определенных на шаге 2. Критерием группировки и выбора признаков является минимизация ошибки прогноза. Рассмотрим пример: задача, поступившая на вход планировщика, представляет собой запрос (с набором входных признаков) к базе знаний (см. этап 3). Планировщик, производит поиск по базе задачи, имеющие схожие с запросом входные признаки, и получает выходные признаки. Схожесть признаков может быть определена на основании функции расстояния, например Heterogeneous Euclidean Overlap Metric [14], которая применяется для оценки числовых и строковых значений. Полученное множество выходных признаков схожих событий является входными параметрами для построения прогностических моделей (этапы 5, 6).

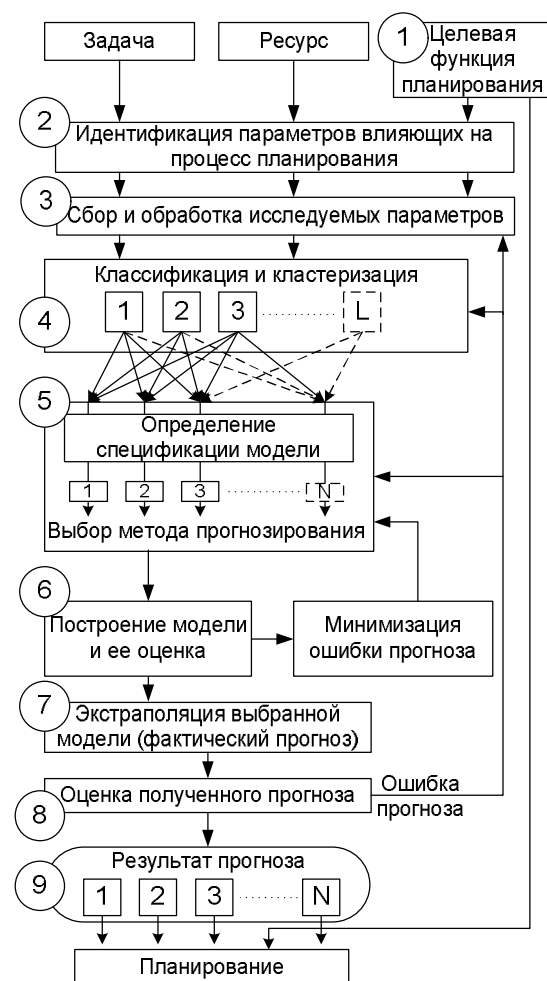


Рис. 3. Метод планирования задач

6. Выбор метода прогнозирования. Определение общего вида модельных соотношений, связы-

вающих между собой интересующие нас входные и выходные переменные. Исключение данных снижающих точность прогноза. Зачастую этот этап используется итерационно со следующим и сводится к выбору наиболее точного метода прогнозирования для данной спецификации модели. Выбор методов прогнозирования определяется целью прогноза, горизонтом прогнозирования, поведением прогнозируемых данных в наборе: наличие горизонтальной, трендовой, циклической и сезонной составляющей. Приведем ряд методов: прогнозирование на основе среднего и медианы, скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание и т.д.

7. Построение прогностической модели. Осуществляется подбор и построение модели прогноза, наиболее соответствующей особенностям собранных данных в смысле минимизации ошибки прогноза. Возможно построение одновременно ряда моделей на одном и тоже наборе данных, в этом случае наиболее адекватная модель (минимальная ошибка прогноза) будет выбрана в качестве текущей.

8. Экстраполяция выбранной модели. Предусматривает фактическое получение требуемого прогноза, поскольку необходимые данные уже собраны, а соответствующая модель прогноза определена. Часто для проверки точности получаемых результатов применяется прогнозирование на недавно прошедшие периоды, для которых исследуемые величины уже известны.

9. Оценка полученного прогноза. Сравнение вычисленных величин с действительно наблюдаемыми значениями. Для этой цели часть наиболее свежей фактической информации обычно исключается из множества анализируемых данных. После того как модель прогноза будет подобрана, выполняется прогноз на эти периоды и полученные результаты сравниваются с известными наблюдаемыми значениями. Некоторые процедуры прогнозирования предусматривают суммирование абсолютных значений ошибок и представляют либо эту сумму, либо частное от деления ее на число прогнозируемых значений, представляющее собой значение средней ошибки прогноза. Другие процедуры используют сумму квадратов ошибок, которая затем сравнивается с аналогичными числами, полученными для альтернативных методов прогнозирования. Некоторые процедуры отслеживают и отмечают величину пределов ошибки за период прогнозирования.

10. Результатами прогноза являются значения параметров определенных на шаге 2. В рамках проблемы планирования (рис. 2) результаты могут выглядеть следующим образом: время выполнения задачи j_1 с параметрами $Features = \{Ft_i, i=1, 2, \dots\}$,

составляет 15 минут $te_1=15$, среднее время безотказной работы ресурса 3 на сайте 2 составляет 24 часа.

Таким образом, результаты данного метода можно формализовать следующим образом:

$$f:\langle Par \rangle:\langle Features \rangle:\langle PM \rangle, \quad (3)$$

где f – целевая функция планирования, например (1);

$Par = \{par_i, i=1, 2, \dots\}$ – множество параметров, влияющих на процесс планирования, например время выполнения задачи te ;

$Features = \{Ft_i, i=1, 2, \dots\}$ – множество признаков (свойств) задачи (ресурса);

$PM = \{Pm_i, i=1, 2, \dots\}$ – множество методов прогнозирования параметров par_i .

Например, на рис. 4 приведен график времени выполнения задач, поступивших в течение 24 часов, с различными признаками: группа (group) и имя ресурса (site), тогда согласно (3), запишем:

$$f_{jn}(t):\{te\}:\{site, group\}:\{MA(2)\}, \quad (4)$$

где $site = \{clrlcge01, clrlcge03\}$, $group = \{G3, G4\}$, $MA(2)$ – прогнозирование на основе скользящего среднего с параметром окна равным 2.

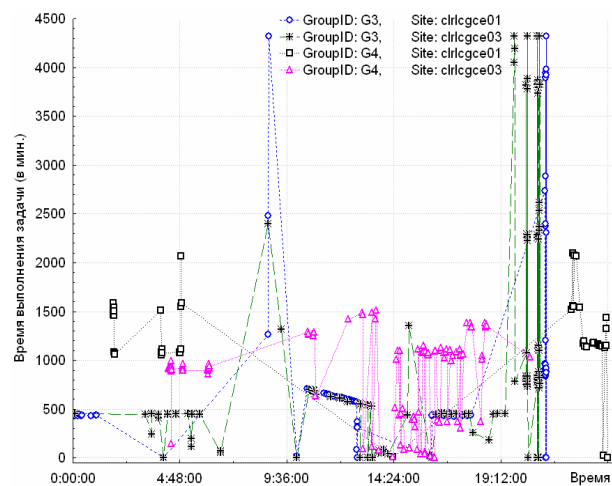


Рис. 4. Время выполнения задач

Выводы

Предложенный метод планирования основан на получении прогнозных оценок параметров ГРИД систем для формирования назначений множеству задач множество ресурсов (2). Очевидно, что эффективность предложенного метода зависит от сформированных шаблонов свойств (шаг 4) и процедур их прогнозирования (шаг 5). В дальнейшем, необходимо исследовать процедуру формирования шаблонов признаков (свойств) и выбора методов прогнозирования, позволяющую повысить точность прогноза и учесть временную и пространственную локальность, а также внезапные изменения прогнозируемых величин.

Литература

1. Heinz Stockinger «Defining the Grid: A Snapshot on the Current View» Draft 1.0, пер. с англ.: Бродская И.М., Ухов Л.В., ИПМ РАН. – 26 June 2006.
2. Garey M.R. *Computers and Intractability: a Guide to the Theory of NP Completeness* / M.R. Garey, D.S. Johnson. // W.H. Freeman and Company. – 1979.
3. H. El-Rewini, T. Lewis, H. Ali. *Task Scheduling in Parallel and Distributed Systems*, // ISBN: 0130992356, PTR Prentice Hall. – 1994.
4. Berman F. *Adaptive Computing on the Grid Using AppLeS* / F. Berman, R. Wolski, H. Casanova, W. Cirne, H. Dail, M. Faerman, S. Figueira, J. Hayes // *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, April, 2003. – V.14. – №.4. –P. 369-382
5. Martino V. *Di Sub optimal scheduling in a grid using genetic algorithms* / V. Di Martino, M. Mililotti // *Parallel Computing*, 2004. – V. 30. – № 5-6. – P. 553-565.
6. Lazarevic A. *Managing Uncertainty - A Case for Probabilistic Grid Scheduling* / A. Lazarevic, L. Sacks // *Proceedings of The Seventh International Meeting on High Performance for Computational Science - VECPAR 2006, Rio de Janeiro, Brazil. – July 2006.*
7. Derbal Y. *A probabilistic scheduling heuristic for computational grids* / Y. Derbal // *Multiagent Grid Syst.* 2, 1. – Jan. 2006. – P. 45-59.
8. Jarvis S. A. *Performance prediction and its use in parallel and distributed computing systems* / S.A. Jarvis, D.P. Spooner, H.N. Keung, J. Cao, S. Saini, G.R. Nudd // *Future Gener. Comput. Syst.* 22, 7. – Aug. 2006. – P. 745-754.
9. Dinda P.A. *Host load prediction using linear models* / P.A. Dinda, D.R. O'Hallaron // *Cluster Computing*. – 2000. – V. 3. – № 4 – P. 265-280.
10. Wolski R. *Predicting the CPU availability of time-shared Unix systems on the computational grid* / R. Wolski, N. Spring, J. Hayes // *Proc. IEEE Int'l Symp. on HPDC*. – Aug. 1999. – P. 1-12.
11. Smith W. *Predicting application run times with historical information* / W. Smith, I. Foster, V. Taylor // *J. Parallel Distrib. Comput.* – Sept. 2004. – V. 64. – № 9. – P. 1007-1016.
12. Goyeneche A. *Improving Grid computing performance prediction using weighted templates* / A. Goyeneche, G. Terstyanszky, T. Delaitre, S. Winter // *Conf. Proc. of the UK e-Science 2007 All Hands Meeting*. – 2007.
13. Li H. *Improving a local learning technique for queue wait time predictions* / H. Li, J. Chen, Y. Tao, D. Groep, L. Wolters // *In proceedings of 6th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid06)*. – 2006.
14. D.R. Wilson *Improved Heterogeneous Distance Functions* / D.R. Wilson, T.R. Martinez // *Journal of Artificial Intelligence Research*. – 1997 – V. 6. – P. 1-34.

Поступила в редакцію 12.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков.

МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ І РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У ГРІД НА ОСНОВІ ПРОЦЕДУР ПРОГНОЗУВАННЯ

С.О. Куланов

Проаналізовано проблематику планування завдань і розподілу ресурсів у ГРІД оточенні. Розроблено метод планування потоку завдань і ресурсів на основі аналізу й прогнозу параметрів функціонування ГРІД оточення. Визначено вхідні й вихідні дані для кожного етапу запропонованого методу. Позначено основні характеристики ГРІД оточення, які впливають на процес планування завдань.

Ключові слова: ГРІД, планування завдань, GWA, розподіл ресурсів, прогнозування.

METHOD FOR JOB PLANNING AND RESOURCE DISTRIBUTION IN GRID BASED ON THE FORECASTING PROCEDURES

S.A. Kulanov

The problem of jobs scheduling and resource allocation in GRID infrastructure is analysed. We propose a new method for jobs workflow planning and resource allocation based on the analysis and prediction of GRID system parameters. We define input and output data for each phase of the proposed method. We also outline the key characteristics of the GRID environment, which affect the process of planning tasks.

Key words: GRID, job planning, GWA, resource allocation, scheduling, prediction.

Куланов Сергей Александрович – ассистент кафедры компьютерных систем и сетей, Национальный аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: Sergej@kulanov.org.ua.