

DOI: 10.15514/ISPRAS-2019-31(5)-14



Динамическое построение прогноза времени завершения вычислительного эксперимента в Desktop Grid

^{1,2} Е.Е. Иващенко, ORCID: 0000-0001-9194-3976 <ivashko@krc.karelia.ru>
² В.С. Литовченко, ORCID: 0000-0003-1104-0502 <valentina97@yandex.ru>

¹ Институт прикладных математических исследований
 Карельского научного центра РАН,
 185910, Россия, г. Петрозаводск, Пушкинская, д. 11
² Петрозаводский государственный университет,
 185910, Россия, г. Петрозаводск, Ленина, д. 33

Аннотация. Desktop Grid является мощным инструментом высокопроизводительных вычислений. Desktop Grid – это форма распределенной высокопроизводительной вычислительной системы, которая использует время простоя географически распределенных вычислительных узлов, объединенных низкоскоростной сетью. При этом, системы типа Desktop Grid имеют существенные отличия от традиционных вычислительных кластеров и вычислительных GRID и требуют специальных инструментов организации вычислений. В статье представлен механизм динамического прогнозирования времени завершения вычислительного эксперимента в Desktop Grid. Мы предлагаем статистический подход, основанный на линейной регрессионной модели с вычислением доверительного интервала, учетом накопления статистической ошибки и соответствующим – при необходимости – изменением прогноза. На основе предложенного подхода разработан алгоритм прогнозирования и программный модуль для Desktop Grid на базе BOINC. Мы представляем результаты экспериментов, основанные на данных проекта добровольных вычислений RakeSearch.

Ключевые слова: Desktop Grid; BOINC; время выполнения; временной ряд; точечный прогноз; доверительный интервал; статистическая ошибка

Для цитирования: Иващенко Е.Е., Литовченко В.С. Динамическое построение прогноза времени завершения вычислительного эксперимента в Desktop Grid. Труды ИСП РАН, том 31, вып. 5, 2019 г., стр. 183-190. DOI: 10.15514/ISPRAS-2019-31(5)-14

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: №18-37-00094 мол_а, РФФИ №18-07-00628 А

Dynamic forecasting of the completion time of a computational experiment in a Desktop Grid

^{1,2} E.E. Ivashko ORCID: 0000-0001-9194-3976 <ivashko@krc.karelia.ru>
² V.S. Litovchenko ORCID: 0000-0003-1104-0502 <va.lentina97@yandex.ru>

¹ Institute of Applied Mathematical Research, Karelian Research Centre of RAS,
 11, Pushkinskaya st., Petrozavodsk, 185910, Russia
² Petrozavodsk State University,
 35, Lenin Avenue, Petrozavodsk, 185910, Russia

Abstract. Desktop Grid is a powerful tool to perform high-throughput computing. Desktop Grid is a form of distributed high-throughput computing system, which uses idle time of non-dedicated geographically distributed computing nodes connected over low-speed network. It has significant differences from computing clusters and computational GRIDs, and needs special operation tackle. In this paper, we present a mechanism for dynamic forecasting of the completion time of a computational experiment in a Desktop Grid. We propose a statistical approach based on the linear regression model with the calculation of a confidence interval, taking into account the accumulation of statistical error and, if needed, changing the forecast. The developed approach is used to implement a forecasting algorithm and software module for a Desktop Grid. We present experimental results based on data from the RakeSearch volunteer computing project.

Keywords: Desktop Grid; BOINC; taskbag runtime estimation; completion time; point prediction; confidence interval; standard error of estimation

For citation: Ivashko E.E., Litovchenko V.S. Dynamic forecasting of the completion time of a computational experiment in a Desktop Grid. Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 31, issue 5, 2019, pp. 183-190 (in Russian). DOI: 10.15514/ISPRAS-2019-31(5)-14

Acknowledgements. This work was supported by RFBR grants: №18-37-00094, №18-07-00628 А.

1. Введение

В различных областях науки и техники существуют проблемы, требующие больших вычислительных ресурсов для нахождения решения. Системы типа Desktop Grid хорошо подходят для выполнения научных высокопроизводительных расчетов [1]. Такие системы имеют вычислительный потенциал, превышающий 1 ExaFLOPS [2]. Desktop Grid – это форма распределенной высокопроизводительной вычислительной системы, которая использует время простоя географически распределенных вычислительных узлов, объединенных низкоскоростной сетью. Вычислительные системы такого типа имеют ряд преимуществ: высокая масштабируемость, надежность, низкая стоимость создания и сопровождения вычислительной системы и др.

Благодаря своим преимуществам, системы типа Desktop Grid являются популярными инструментами для решения вычислительно емких научных задач типа «bag of tasks». Вычислительный процесс в Desktop Grid выглядит следующим образом. Вычислительно сложная задача делится на большое количество небольших подзадач; сервер Desktop Grid отправляет подзадачи на вычислительные узлы (клиенты); когда результат вычислений готов, клиент отправляет его обратно на сервер и запрашивает новое подзадание. После того, как на сервере собраны все результаты, они объединяются в единое решение исходной задачи [1]. Подробное описание вычислительного процесса в Desktop Grid на основе BOINC приведено в [3].

Зачастую в рамках вычислительных проектов проводятся отдельные вычислительные эксперименты (или «кампании») (campaign) в терминах работы [4]. Вычислительный эксперимент представляет собой набор заданий, для которого анализ результатов может быть начат только после завершения всех задач вычислительного эксперимента.

Соответственно, возникает проблема оценки времени выполнения набора заданий; для исследователя важно знать, когда он может начать обработку результатов вычислительного эксперимента. Существует ряд особенностей, которые осложняют оценку времени выполнения набора заданий в Desktop Grid:

- высокая аппаратная и программная гетерогенность;
- низкая надежность вычислительных узлов;
- неопределенность времени обработки.

Оценка времени выполнения является важной проблемой для вычислительных проектов, основанных на системах типа Desktop Grid. В данной статье мы представляем процедуру динамической оценки времени выполнения набора заданий. Работа расширяет результаты, представленные в статье [5] ранее. В данной работе мы предлагаем статистический подход, основанный на линейной регрессионной модели, расчете доверительного интервала и динамическом пересчете прогноза с учетом накопленной статистической ошибки.

2. Обзор работ

Ряд научных работ посвящен оценке времени выполнения набора заданий. Авторы статьи [6] рассматривают и сравнивают наиболее популярные промежуточные программные обеспечения для реализации Desktop Grid. Программная платформа BOINC является самым популярным программным обеспечением организации Desktop Grid для выполнения добровольных вычислений [7]; она имеет встроенный механизм оценки времени выполнения одной задачи. При этом платформа BOINC проста в развертывании, использовании и управлении [8]. Однако ее нельзя использовать для оценки времени выполнения набора заданий.

Можно отметить, что в случае постоянного значения доступных вычислительных ресурсов и идентичных (с вычислительной точки зрения) задач время выполнения измеряется по формуле: $Runtime(n) = n \cdot w/R$, где $Runtime(n)$ – время, требующееся для выполнения n задач, w – время завершения одной задачи, R – доступные вычислительные ресурсы. Такая формула в общем случае не может применяться для реальных проектов Desktop Grid. Этот простой подход можно немного улучшить. Действительно, в случае колебаний доступных ресурсов можно использовать усреднение; в случае линейного увеличения / уменьшения ресурсов / сложности задачи следует измерять тренд. Мы используем статистический подход, который больше подходит для проектов Desktop Grid и охватывает все эти случаи.

Авторы статьи [9] описывают подход к планированию тысяч заданий с различными требованиями к неоднородным ресурсам Grid, которые используют компьютеры добровольцев с программным обеспечением BOINC. Ключевой компонент этой системы обеспечивает априорную оценку времени выполнения с использованием машинного обучения со случайными лесами.

В статье [4] автор рассматривает проблему сокращения времени выполнения набора заданий («кампании»). Важной частью решения является оценка «времени завершения компании» τ_c , которое зависит от доступных вычислительных ресурсов R_A для соответствующего приложения A , начинающего компанию n_A , количества незавершенных задач W_c и текущего времени t : $\tau_c = t + W_c \cdot n_A / R_A$. Автор использует точечный прогноз, который обновляется каждый раз, когда изменяется количество доступных ресурсов. Этот подход имеет явные недостатки: во-первых, в реальном проекте Desktop Grid количество доступных ресурсов неизвестно из-за неизвестного количества работающих вычислительных узлов; во-вторых, этот подход не учитывает изменчивую производительность; наконец, предполагается, что в любое время число незавершенных задач известно, а это не так. Кроме того, этот подход показывает гораздо

лучшие результаты, чем обычный механизм самой популярной программной платформы Desktop Grid BOINC.

В статьях [10] и [11] представлен механизм планирования задач, который основан на прогнозировании времени выполнения для задач подбора параметра. Используя этот подход, можно сопоставить прогнозируемые окна доступности ресурсов с прогнозируемым временем выполнения отдельных задач. Это позволяет уменьшить количество задач, отмененных из-за нехватки вычислительного времени на узле. Подход реализован в программном обеспечении GIPSy (Grid Information Prediction System). Авторы также предлагают несколько прогнозных математических моделей.

Авторы статьи [12] пытаются оценить верхние временные границы задержек, которые являются частью времени жизни задачи (задержки распределения, выполнения и валидации). В статье авторы оценивают точность нескольких вероятностных методов. Более точное прогнозирование времени ожидания позволяет более точно прогнозировать время выполнения набора заданий, обеспечивает более эффективное использование ресурсов, более высокую пропускную способность проекта и более низкую задержку задания в проектах Desktop Grid.

В статье [13] предложен подход динамической репликации для сокращения времени, необходимого для выполнения набора заданий. Предложены математическая модель и стратегия динамической репликации на стадии хвоста вычислений.

В работе [14] авторы формулируют аналитическую модель, которая позволяет сравнивать различные политики распределения ресурсов. В частности, авторы изучают политику распределения ресурсов, которая направлена на минимизацию среднего времени завершения работы; показано, что предлагаемая политика может сократить среднее время завершения на 50% от необходимого для политик равномерного или линейного распределения. В статье [15] Desktop Grid динамически дополняется облаком Инфраструктура как услуга (IaaS) для сокращения среднего времени выполнения задач. Часть главы [16] посвящена обзору и описанию нескольких инструментов моделирования Grid и Desktop Grid: SimBA, SimBOINC и EmBOINC software. В работе [17] также рассматривается моделирование различных вычислительных систем с фокусировкой на симуляторе SimGrid. Работы [18] и [19] посвящены эмуляции Desktop Grid на EmBOINC, также авторы обращают внимание на несколько средств моделирования. В работе [20] описан симулятор BOINC SimBA.

Эта статья расширяет работу [5], в которой модель Хольта предлагается в качестве модели прогнозирования. Мы провели численные эксперименты на базе статистики работы проекта RakeSearch. Результаты экспериментов показывают хорошее приближение точечного прогноза к реальному значению. Однако на практике доверительный интервал важнее точечного прогноза. Эксперименты показывают хорошее покрытие реальных данных доверительными интервалами. Это показывает, что, несмотря на высокую неоднородность и большое количество вычислительных узлов, а также различную сложность задач, можно получить полезную оценку времени завершения. Существует ряд нюансов, которые необходимо учитывать при реализации описанного подхода. Во-первых, точность аппроксимации моделью Хольта зависит от коэффициентов сглаживания ряда и тренда. Во-вторых, при прогнозировании на большое число шагов вперед целесообразно выполнять масштабирование временного ряда. В-третьих, для расчета доверительного интервала берутся k последних точек. В-четвертых, на практике необходим динамический пересчет прогноза при поступлении новых результатов. В этой статье мы используем модель линейной регрессии (которая на практике лучше подходит) и предлагаем метод динамического прогнозирования, основанный на накоплении статистической ошибки.

3. Динамическое построение прогноза

Мы предлагаем статистический подход, основанный на следующих предположениях. Во-первых, существует функциональная зависимость между прошлыми и будущими значениями процесса. Во-вторых, эта зависимость имеет кусочно-линейный вид с восходящим трендом. С точки зрения Desktop Grids эти предположения означают следующее. Наблюдаемый процесс описывает моменты времени получения новых результатов. Таким образом, он является строго возрастающим (два результата не могут быть получены одновременно). Угол линии тренда описывает производительность Desktop Grid. Производительность может варьироваться, а тренд меняться соответственно. Мы предполагаем, что изменение производительности является линейным, потому что нелинейные изменения обычно связаны с началом проекта, вычислительными соревнованиями или другими нерегулярными периодами проекта. Такие нелинейные эффекты ограничены переходным периодом и быстро исчезают.

Построение оценки времени выполнения состоит из трех этапов: сначала строится точечная оценка времени завершения и соответствующий доверительный интервал, затем в ходе выполнения расчетов отслеживается накопление статистической ошибки, наконец, при достижении статистической ошибкой некоторого заданного порога выполняется пересчет прогноза с обновлением точечной оценки времени завершения и доверительного интервала.

Рассмотрим эти три этапа более подробно. В соответствии с нашими предположениями, прогнозируемый ряд имеет кусочно-линейный вид. Соответственно, линейная регрессия хорошо подходит для прогнозирования линейных частей. Линейная регрессия определяется формулой [21]: $y_i = a \cdot x_i + b + \varepsilon_i$. Здесь коэффициенты a , b находятся по методу наименьших квадратов [22].

Для предоставления прогноза ученому, выполняющему вычислительный эксперимент, мы рассчитываем доверительный интервал. Доверительный интервал – это интервал, в котором с определенной долей вероятности лежит истинное значение статистической характеристики. Более подробное описание математических формул, связанных с линейной регрессией, методом наименьших квадратов и доверительным интервалом, можно найти, например, в [5].

Второй этап – это накопление статистической ошибки. Статистическая ошибка представляет собой стандартное отклонение наблюдаемых значений от прогнозируемых и рассчитывается по формуле [23]: $\varepsilon_i = \sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*|/n$, где y_i – расчетные значения. При превышении накопленной ошибкой определенного уровня, считается, что прогноз не соответствует реальному процессу. Применительно к нашей задаче это означает, что в процессе расчетов сменился тренд и производительность Desktop Grid изменилась. Поэтому прогноз должен быть пересчитан. Пример прогнозирования, накопления статистической ошибки и смены прогноза представлена на рис. 1.

По оси X откладывалась накопленная работа, по оси Y время. Применимость подхода оценивалась на основе численных экспериментов, проводимых с использованием истории работы проекта добровольных вычислений RakeSearch [24]. Для оценки времени завершения брались наборы заданий случайной продолжительности (от 100 до 1000 подзаданий) со случайным временем упреждения (от 10 до 50 подзаданий). На первом шаге мы рассчитали коэффициенты a и b . По выбранному уравнению регрессии мы находили прогнозные значения, строили прогноз и считали стандартную ошибку. Как только ошибка достигала 8% мы пересчитывали прогноз.

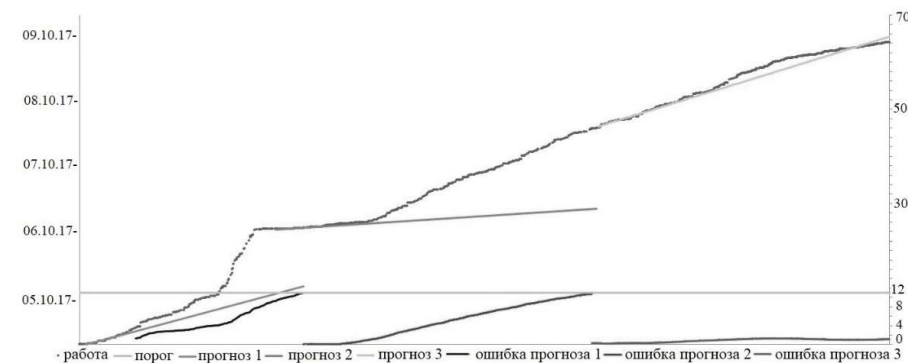


Рис. 1. Прогнозирование и статистическая ошибка
Fig. 1. Forecasting and statistical error

4. Заключение

Вычисления в рамках Desktop Grid активно используются в научной сфере. Так как вычислительные проекты Desktop Grid часто основаны на вычислительных экспериментах, оценка времени выполнения набора заданий является важной с практической точки зрения задачей. Работа посвящена оценке времени выполнения набора заданий. Мы представили статистический подход к оценке времени выполнения набора заданий. В качестве статистической модели была выбрана модель линейной регрессии. Исходя из наших предположений, эта модель подходит для прогнозирования линейных частей.

Мы предложили процедуру прогнозирования, состоящую из трех этапов: построение точечной оценки времени завершения и соответствующего доверительного интервала, отслеживание накопления статистических ошибок и пересчет прогноза при необходимости. Мы провели численные эксперименты, используя историю проекта добровольных вычислений RakeSearch. Разработанная процедура прогнозирования позволила с большей точностью прогнозировать значения на более длительный период шагов вперед.

Список литературы / References

- [1] Ивашко Е.Е., Никитина Н.Н. Использование BOINC-грид в вычислительных научных исследованиях. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, том 11, вып. 1, 2013 г., стр. 53-57 / E.E. Ivashko, N.N. Nikitina. Employment of boinc-grid in computationally intensive scientific research. Vestnik NSU. Series: Information Technologies, vol. 11, issue 1, pp. 53-57 (in Russian).
- [2] Wu W., G. Chen, W. Kan, D. Anderson, F. Grey. Harness public computing resources for protein structure prediction computing. In Proc. of the International Symposium on Grids and Clouds (ISGC), 2013.
- [3] Anderson D. P., Christensen C., Allen B. Designing a Runtime System for Volunteer Computing. In Proc. of the 2006 ACM/IEEE Conference on Supercomputing, 2006, p. 126.
- [4] Amstel D. van. Scheduling for Volunteer Computing on the BOINC server infrastructure. PhD Thesis, 2012.
- [5] Ivashko E., Litovchenko V. Batch of Tasks Completion Time Estimation in a Desktop Grid. Communications in Computer and Information Science, vol. 965, 2019, pp. 500-510.
- [6] Khan M.Kh., Mahmood T., Hyder S.I. Scheduling in Desktop Grid Systems: Theoretical Evaluation of Policies and Frameworks. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 8, issue 1, 2017, pp. 119-127.

- [7]. Ивашко Е.Е. Desktop Grid корпоративного уровня. Программные системы: теория и приложения, том 5, № 1, 2014, стр. 183-190 / Ivashko E.E. Enterprise Desktop Grids. Program Systems: Theory and Applications, vol. 5, № 1, pp. 183-191 (in Russian).
- [8]. Anderson D.P. A system for public-resource computing and storage. In Proc. of the Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing, 2004, pp. 4–10.
- [9]. Bazinet A. L., Cummings M. P. Computing the Tree of Life: Leveraging the Power of Desktop and Service Grids. In Proc. of the International Symposium on Parallel and Distributed Processing Workshops and PhD Forum, 2011, pp. 1896–1902.
- [10]. Peter Hellinckx, Sam Verboven, Frans Arickx, Jan Broeckhove. Predicting Parameter Sweep Jobs: From Simulation to Grid Implementation. In Proc. of the 2009 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2009, pp. 402–408.
- [11]. Hellinckx P., Verboven S., Arickx F., Broeckhove J. Runtime prediction based Grid scheduling of parameter sweep jobs. In Proc. of the IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, 2008, pp. 33–38.
- [12]. Estrada, T., Taufer M. and Reed K. Modeling Job Lifespan Delays in Volunteer Computing Projects. In Proc. of the 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2009, pp. 331-338.
- [13]. Kolokoltsev Y., Ivashko E., Gershenson C. Improving “tail” computations in a BOINC-based Desktop Grid. Open Engineering, vol. 7, issue 1, 2017, pp. 119–127.
- [14]. Villela D. Minimizing the Average Completion Time for Concurrent Grid Applications / Journal of Grid Computing, 2010, vol. 8, issue 1, pp. 47–59.
- [15]. Reynolds C. J., Winter S., Terstysnszky G.Z., Kiss T., Greenwell P., Acs S., Kacsuk P. Scientific Workflow Makespan Reduction through Cloud Augmented Desktop Grids. In Proc. of the IEEE Third International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 2011, pp. 18–23.
- [16]. Estrada T., Taufer M. Challenges in Designing Scheduling Policies in Volunteer Computing. In Desktop Grid Computing, Chapman & Hall/CRC, 2012, pp. 167–190.
- [17]. Beaumont O., Bobelin L., Casanova H. et al. Towards Scalable, Accurate, and Usable Simulations of Distributed Applications and Systems. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Research Report RR-7761, 2011.
- [18]. Estrada T., Taufer M., Anderson D.P. Performance Prediction and Analysis of BOINC Projects: An Empirical Study with EmBOINC. Journal of Grid Computing, no. 7, 2009, pp. 537-554.
- [19]. Estrada T., Taufer M., Reed K., Anderson D.P. EmBOINC: An emulator for performance analysis of BOINC projects. In Proc. of the International Symposium on Parallel & Distributed Processing, 2009, pp. 1–8.
- [20]. Taufer M., Kerstens A., Estrada T., Flores D.A., Teller P.J. SimBA: A Discrete Event Simulator for Performance Prediction of Volunteer Computing Projects. In Proc. of the 21st International Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, 2007, pp. 189–197.
- [21]. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального правдоподобия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. МГТУ, 2012 / Chuchueva I.A. Time Series Prediction Model for Maximum Credibility Sampling. The dissertation for the degree of candidate of technical sciences. MSTU, 2012 (in Russian).
- [22]. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М., Статистика, 1977, 200 стр. / Chetyrkin E. M. Statistical methods of forecasting. M., Statistics, 1977, 200 p. (in Russian).
- [23]. Мамаева З.М. Введение в эконометрику. Нижегородский госуниверситет, 2010, 72 стр. / Mamaeva Z.M. Introduction to Econometrics. Nizhny Novgorod State University, 2010, 72 p. (in Russian).
- [24]. Manzyuk M., Nikitina N., Vatutin E. Employment of Distributed Computing to Search and Explore Orthogonal Diagonal Latin Squares of Rank 9. In Proc. of the XI All-Russian research and practice conference "Digital technologies in education, science, society", 2017, pp. 97-100.

Информация об авторах / Information about authors

Евгений Евгеньевич ИВАШКО – кандидат физико-математических наук, руководитель ЦКП КарНЦ РАН «Центр высокопроизводительной обработки данных», доцент ПетрГУ. Сфера научных интересов: высокопроизводительные и распределенные вычисления, Desktop Grid, математическое моделирование, разработка информационных и информационно-аналитических систем.

Evgeny Evgenievich IVASHKO – PhD in physics and mathematics, head of High-performance computing centre of KRC of RAS, assistant professor of Petrozavodsk State University. Research interests: high-throughput and distributed computing, Desktop Grid, mathematical modelling, information and analytics platform development.

Валентина Степановна ЛИТОВЧЕНКО является студентом направления “Математическое моделирование и информационно-коммуникационные технологии” Петрозаводского государственного университета. Сфера научных интересов: высокопроизводительные и распределенные вычисления, Desktop Grid, математическое моделирование.

Valentina Stepanovna LITOVCHENKO is a student in the field of “Mathematical Modeling and Information and Communication Technologies” at Petrozavodsk State University. Research interests: high-performance and distributed computing, Desktop Grid, mathematical modeling.