

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОСТУПНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КЛАСТЕРА ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИ EMMSP

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

В области научных вычислений остро стоит вопрос эффективности использования вычислительных ресурсов, поскольку сами ресурсы находятся в дефиците, а исследователи конкурируют за доступ к наиболее производительным окружениям. Под окружением понимается программно-аппаратный комплекс: совокупность физических ЭВМ, каналов связи, периферийных устройств и ПО, необходимого для работы системы. Нередко разработчикам проекта доступно не одно окружение для запуска вычислительных задач, а несколько. В этой ситуации важно грамотно выбрать окружение, в котором вычисления будут завершены как можно раньше.

подавляющее большинство современных кластеров и суперкомпьютеров используют пакетные системы для запуска задач, а это значит, что каждая задача перед своим запуском проходит через очередь пакетной системы. Время выполнения вычислений в различных окружениях может быть сравнимым, если сами окружения имеют схожую производительность, но время, которое проводит задача в очереди, может отличаться очень сильно, поскольку оно зависит от загруженности окружения и количества запускаемых задач [1]. Кроме того, время ожидания задачи в очереди может быть непредсказуемо для некоторых применяемых политик планирования задач.

Для прогнозирования объёма доступных ресурсов требуются данные о загруженности вычислительных ресурсов и о профиле использования. Под профилем использования понимается набор особенностей окружения, он может быть представлен историческими данными загрузки ресурсов [2]. При прогнозировании следует принять во внимание как большой массив исторических данных по исполнению задач, так и тренд загрузки ресурсов.

### Модель прогнозирования EMMSP

Пусть задан временной ряд  $Z(t) = Z(1), Z(2), \dots, Z(T)$ . Набор последовательных значений  $Z_t^M = Z(t), Z(t+1), \dots, Z(t+M-1)$ , лежащий внутри исходного временного ряда, назовём выборкой длины  $M$  с моментом начала отсчёта  $t$ ;  $M \in \{1, 2, \dots, T\}$ ,  $t \in \{1, 2, \dots, T - M + 1\}$ . Две выборки одинаковой длины, принадлежащие одному временному ряду, свяжем через

параметр временной задержки  $k$ :  $Z_t^M = Z(t), \dots, Z(t + M - 1)$  и  $Z_{t-k}^M = Z(t - k), \dots, Z(t - k + M - 1)$ ;  $k \in \{1, 2, \dots, t - 1\}$ . В работе [3] сформулировано ключевое свойство выборок, позволяющее прогнозировать значения временных рядов по известным выборкам: фактические выборки временного ряда могут иметь подобие с будущими выборками.

Подобием двух выборок назовём их свойство, заключающееся в том, что одна выборка может быть выражена через другую с помощью линейной зависимости  $Z_t^M = \alpha_1 Z_{t-k}^M + \alpha_0 I^M + E^M$ . Здесь  $\alpha_1$  и  $\alpha_0$  – коэффициенты,  $I^M$  – единичный вектор,  $E^M$  – вектор ошибок аппроксимации. Подобие выборок и его применение для прогнозирования временных рядов рассмотрено в работе [4], где автор приводит модель экстраполяции временных рядов по выборке максимального подобия (extrapolation model on most similar pattern, далее EMSSP).

Особенности модели EMSSP:

- модель относится к классу авторегрессионных моделей прогнозирования;
- модель работает со стационарными и нестационарными временными рядами;
- модель имеет один параметр  $M$ ;
- экстраполяция значений временного ряда производится за одну итерацию;

Для применения модели EMMSP должны выполняться условия:

- временной ряд равноотстоящий (значения процесса фиксируются через равные интервалы времени);
- временной ряд относится к классу рядов с длинной памятью;
- задача прогнозирования на  $P$  значений вперёд относится к классу краткосрочного или среднесрочного прогнозирования данного типа временного ряда;
- длина исходного временного ряда составляет не менее  $500P - 700P$ , где  $P$  – количество точек прогноза.

### **Применение модели EMMSP для прогнозирования загрузки ресурсов кластера «Сергей Королёв»**

В рамках веб-сервиса Templet [5] мы собрали статистику исполнения задач на кластере «Сергей Королёв» с ноября 2013 г. по март 2016.

Мы опробовали модель EMMSP на данных по загрузке вычислительных ресурсов кластера. Модель работает недостаточно хорошо, чтобы применять её одну и даёт среднюю абсолютную ошибку ~10 узлов при максимальном числе узлов в группе – 70. Эту модель можно применять в комбинации с наивным прогнозом путём сдвига текущих значений ряда. Комбинацию моделей можно построить по эмпирическому правилу: если значение множителя подобия выборки  $\alpha_1$  выходит за границы отрезка  $[0, 3.0]$ , то использовать сдвиг. На рисунке 1 представлен график загрузки узлов с фактическими (сплошная линия) и прогнозными (пунктирная линия) значениями для прогноза на 12 часов вперёд (12 значений, по одному в час). Пример участка, на котором лучший результат показывает модель прогнозирования по выборке

наибольшего подобия, помечен как EMMSP, а пример участка, на котором выполняется сдвиг, помечен как SHIFT.

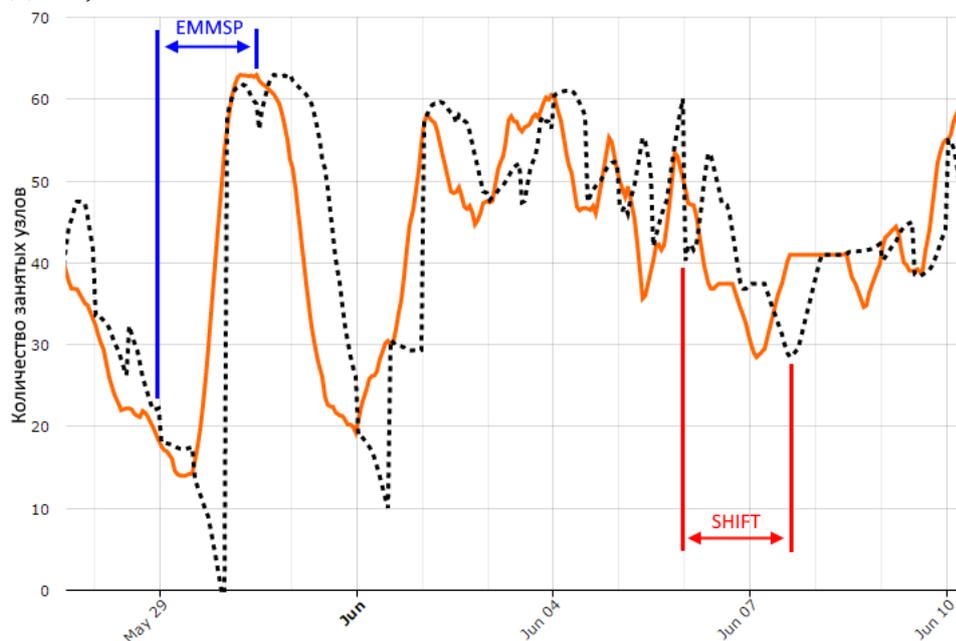


Рисунок 1 – Прогноз загрузки ресурсов кластера «Сергей Королёв»

По результатам тестирования модели мы можем сделать вывод о том, что модель хорошо себя показывает только на некоторых участках и её можно применять в комбинациях моделей путём адаптивной селекции или композиции [6].

Алгоритм прогнозирования будет интегрирован в сервис Templet Web, чтобы дать пользователям возможность оценить время запуска задачи.

### **Применение результатов прогнозирования**

Результаты прогнозирования доступных ресурсов и момента запуска отдельных задач можно применять для решения задач планирования:

- выбор окружения для запуска задачи пользователя: обеспечить быстрый запуск, если задача интерактивная, или быстрое получение результатов;
- построение плана размещения компонентов распределённого приложения, если требуется построить распределённый конвейер вычислений;
- оптимизация параметров запуска и объёмов входных данных для минимизации общего времени обработки;
- снижение энергопотребления кластеров и центров обработки данных, когда ресурсы не используются;
- планирование увеличения парка серверов для облачных окружений, если загрузка ресурсов облака постоянно растёт.

С развитием облачных технологий вопросы энергоэффективности ресурсов выходят на первый план. Прогноз загрузки вычислительных ресурсов облака позволил бы отключать некоторое количество неиспользуемых ресурсов и сообщал бы о необходимости пополнения парка машин в случае роста загрузки.

## Литература

1. Nurmi, D. QBETS: Queue Bounds Estimation from Time Series [Текст] / D. Nurmi, J. Brevik, R. Wolski // JSSPP 2007. LNCS, vol. 4942 Springer, Heidelberg. – 2008. – С. 76 - 101.
2. Brevik, J. Predicting Bounds on Queuing Delay for Batch-Scheduled Parallel Machines [Текст] / J. Brevik, D. Nurmi, R. Wolski // PPOPP 2006: Proceedings of the Eleventh ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming. – 2006. – С. 110 - 118.
3. Fernandez-Rodriguez, F. Nearest-Neighbour Predictions in Foreign Exchange Markets / F. Fernandez-Rodriguez, S. Sosvilla-Rivero, J. Andrada-Felix // Fundacion de Estudios de Economia Aplicada [Электронный ресурс]. – 2002, No.5. 36 p. URL: <http://documentos.fedea.net/pubs/dt/2002/dt-2002-05.pdf> (дата обращения 21.02.2016)
4. Чучуева, И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия [Текст] / И.А. Чучуева // Дисс. на соиск. уч. ст. к. т. н., Москва. – 2012. – 155 с.
5. Артамонов, Ю.С. Применение облачного сервиса Templet Web при проведении лабораторных практикумов на суперкомпьютере «Сергей Королев» [Текст] / Ю.С. Артамонов, С.В. Востокин // X Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование», МГУ, Москва, 2015. Том 2. – С. 409 - 414.
6. Лукашин, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю.П. Лукашин – Москва: Финансы и статистика, 2003 – 415 с.