

# Совместное использование технологий OpenMP и MPI на узлах вычислительного кластера

А. С. Федулов<sup>1</sup>, Я. А. Федулов<sup>1\*</sup>, А. С. Федулова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"», Москва, Россия

\* fedulov\_yar@mail.ru

**Аннотация.** Данная работа посвящена проблеме реализации эффективной параллельной программы, решающей поставленную задачу с использованием максимально доступного количества ресурсов вычислительного кластера, с целью получения соответствующего выигрыша в производительности по отношению к последовательной версии алгоритма. Основная цель работы заключалась в исследовании возможности совместного использования технологий распараллеливания OpenMP и MPI с учетом характеристик и особенностей решаемых задач для повышения производительности выполнения параллельных алгоритмов и программ на вычислительном кластере. В статье проведен краткий обзор подходов к вычислению функции трудоемкости для последовательных программ. Для определения трудоемкости параллельных программ в работе был использован подход на основе пооперационного анализа. Описаны особенности технологий распараллеливания последовательных программ OpenMP и MPI. Приведены основные программно-аппаратные факторы, влияющие на скорость выполнения параллельных программ на узлах вычислительного кластера. Основное внимание в работе уделено исследованию влияния на производительность соотношения количества вычислительных и обменных операций в программе. Для реализации исследований были разработаны тестовые параллельные OpenMP- и MPI-программы, в которых задается общее количество операций и соотношение между вычислительными и обменными операциями; также в тестовых программах был предусмотрен замер времени их выполнения. В качестве программно-аппаратной платформы был использован вычислительный кластер, состоящий из нескольких узлов. Проведенные экспериментальные исследования позволили подтвердить эффективность гибридной модели параллельной программы в многоузловых системах с разнородной памятью с использованием OpenMP в подсистемах с общей памятью, а MPI – в подсистеме с распределенной памятью.

**Ключевые слова:** трудоемкость алгоритмов, типы операций, технологии распараллеливания, высокопроизводительный вычислительный кластер

**Для цитирования:** Федулов А. С., Федулов Я. А., Федулова А. С. Совместное использование технологий OpenMP и MPI на узлах вычислительного кластера // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 2. С. 60–71. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-60-71

# Joint use of OpenMP and MPI technologies on the nodes of the computational cluster

A. Fedulov<sup>1</sup>, Y. Fedulov<sup>1\*</sup>, A. Fedulova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

<sup>2</sup> National Research University "MPEI", Moscow, Russia

\* fedulov\_yar@mail.ru

**Abstract.** This work is devoted to the problem of implementing an efficient parallel program that solves the assigned task using the maximum available amount of computing cluster resources in order to obtain the corresponding gain in performance with respect to the sequential version of the algorithm. The main objective of the work was to study the possibilities of joint use of the parallelization technologies OpenMP and MPI, considering the characteristics and features of the problems being solved, to increase the performance of executing parallel algorithms and programs on a computing cluster. This article provides a brief overview of approaches to calculating the sequential programs complexity functions. To determine the parallel programs complexity, an approach based on operational analysis was used. The features of the sequential programs parallelization technologies OpenMP and MPI are described. The main software and hardware factors affecting the execution speed of parallel programs on the nodes of a computing cluster are presented. The main attention in this paper is paid to the study of the impact on performance of computational and exchange operations number ratio in programs. To implement the research, parallel OpenMP and MPI testing programs were developed, in which the total number of operations and the correlation between computational and exchange operations are set. A computing cluster consisting of several nodes was used as a hardware and software platform. Experimental studies have made it possible to confirm the effectiveness of the hybrid model of a parallel program in multi-node systems with heterogeneous memory using OpenMP in shared memory subsystems, and MPI in a distributed memory subsystems.

**Keywords:** algorithms complexity, types of operations, parallelization technologies, high-performance computing cluster

**For citation:** Fedulov A., Fedulov Y., Fedulova A. Joint use of OpenMP and MPI technologies on the nodes of the computational cluster. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2021, vol.16, no.2, pp.60-71 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-60-71

## Введение

В настоящее время для решения ряда прикладных и научных задач, требующих большого количества вычислительных ресурсов, используются высокопроизводительные параллельные системы различных архитектур и конфигураций. Одним из наиболее доступных решений в соотношении цены и получаемых вычислительных мощностей являются вычислительные кластеры (ВК), состоящие из одного или нескольких узлов, имеющих в своем составе многоядерные

процессоры, где каждый узел обычно представляет параллельную вычислительную систему с общей памятью. Узлы кластера соединяются коммуникационной средой с высокой пропускной способностью и работают параллельно для решения одной поставленной задачи, образуя высокопроизводительную систему с распределенной памятью [3].

Одной из основных проблем в системах данного класса является написание эффективной параллельной программы, решающей поставленную задачу с использованием мак-