

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора физико-математических наук Старченко Александра Васильевича  
на диссертацию Власенко Андрея Юрьевича

«Автоматизированный контроль корректности MPI-программ на основе шаблонов ошибочного поведения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Диссертация А.Ю. Власенко направлена на разработку и программную реализацию оригинального метода отладки параллельных программ для многопроцессорных вычислительных систем с распределенной памятью, который основывается на принципах автоматизированного контроля корректности использования функций библиотеки интерфейса передачи сообщений Message Passing Interface с использованием текстовых шаблонов ошибочного поведения.

Актуальность выбранной темы не вызывает сомнений, поскольку, особенно в последнее время, высокопроизводительные вычисления на компьютерах с параллельной архитектурой все чаще используются не только в научных исследованиях, но и при разработке новых образцов технических устройств и аппаратов. Для проведения таких вычислений необходимо наряду с готовым программным обеспечением создавать новые или модернизировать имеющиеся параллельные программы. При параллельном программировании ошибки неизбежны, особенно при создании больших компьютерных программ, причем по сравнению с обычными последовательными программами появляется возможность сделать ошибку при разработке параллельной части программы. Наиболее сложно обнаруживать семантические ошибки, когда понимание процесса обработки данных программистом и компилятором различается. Данная работа посвящена созданию программного обеспечения для автоматизированного

обнаружения семантических ошибок при вызове функций «ассемблера параллельного программирования» интерфейса передачи сообщений Message Passing Interface.

Во введении автор работы дал обоснование актуальности темы исследования, сформулировал цель, задачи, научную новизну, практическую значимость диссертационного исследования, а также положения, выносимые на защиту, дал информацию о степени апробации работы, представил краткое содержание работы по главам.

В первой главе приведены обзор и классификация семантических ошибок, возникающих при выполнении программ на многопроцессорных системах с распределенной памятью. Особое внимание уделено описанию типов ошибок, характерных для параллельных MPI-программ. Представлены основные подходы и некоторые инструментальные средства для проведения отладки параллельных программ (диалоговые отладчики TotalView, Distributed Debugging Tool, средства верификации модели программ MPI-Spin, средства автоматизированного контроля корректности MARMOT, Intel Trace Analyzer & Collector, Gepard, Intel Message Checker). Подробно проанализированы положительные и отрицательные стороны каждого из этих подходов. Сделан вывод о перспективности автоматизированного контроля во время исполнения параллельной программы на многопроцессорной вычислительной системе с распределенной памятью с возможностью пользователя самому задавать проверки, которые необходимо произвести.

Во второй главе диссертации подробно описаны правила для системы описания шаблонов ошибочного поведения MPI-программ, в основу которой были определены параметры, получающиеся с использованием профилировочного интерфейса MPI-реализации. Такой подход обусловлен тем, что при проведении автоматизированной проверки корректности параллельных программ предполагается использовать автоматизированные средства отладки – профилировочный интерфейс. Представлена структура файлов

шаблонов и подробно описана каждая компонента этих файлов. На основе сравнения с представленной в первой главе классификацией семантических ошибок обоснована необходимость включения в шаблон каждой предложенной его компоненты. Использование шаблонов при автоматизированной корректности параллельных программ позволяет не только детализировать ошибочную ситуацию, но и проводить пользовательские проверки эффективности организации межпроцессорной передачи данных в программе. В заключительной части главы представлены разработанные автором двадцать два шаблона для поиска некорректного использования функций библиотек MPI-1 и MPI-2.

Третья глава посвящена описанию разработанной А.Ю. Власенко системы отладки. Подробно описана структура и дано назначение и представлены принципы работы компонентов системы (утилита запуска, препроцессор, процесс сервера-анализатора, профилировочная библиотека). Рассмотрено назначение потоков данных, передаваемых между компонентами системы. Приведено описание используемых структур данных, которыми оперируют компоненты системы. Подробно описан алгоритм работы системы отладки для отдельного запуска автоматизированной проверки корректности параллельной программы: обработка системой пользовательских шаблонов и на их основе обнаружение семантических ошибок в параллельной программе. В заключительной части главы представлены примеры обработки программ с некоторыми типичными семантическими ошибками вызова функций стандарта MPI.

Четвертая глава посвящена описанию результатов тестирования разработанной диссертантом системы автоматизированного контроля корректности MPI-программ, содержащих семантические ошибки. В качестве аппаратной базы для тестирования использовался пятиузловой вычислительный кластер КемГУ с коммуникационной средой Ethernet 100Мб/с, на котором установлена операционная система Microsoft HPC Server 2008 64 bit, две реализации стандарта MPI (MPICH2 и MSMPI). При

компиляции программ использовались компиляторы C++ gcc и mvs. Результаты запуска системы сравнивались с программными приложениями MARMOT\_v2.2 и Intel Trace Analyzer and Collector. В качестве объектов тестирования автором был разработан ряд простых MPI-программ, написанных на языке C++ и содержащих семантические ошибки – гонка данных, дедлок из-за встречных пересылок, несоответствие в размере передаваемых сообщений между двумя процессами, несоответствие в типе данных передаваемых сообщений между двумя процессами, непарная посылка, несоответствие в номере корневого процесса при коллективной передаче данных, запущенная не всеми процессами коллективная операция, превышение разрешенного количества передаваемых данных и т.п. В тексте диссертации приведен листинг C++ программы для каждого теста, дается анализ тестового примера, результаты тестирования, описываются результаты, предоставляемые при запуске программных продуктов MARMOT и ITAC. Обобщая полученные результаты тестирования А.Ю. Власенко подчеркивает существенное преимущество разработанной им системы автоматического анализа корректности параллельных MPI-программ по сравнению с рассмотренными разработками других авторов.

После проведения тестов система использовалась для автоматизированного контроля корректности двух программ, разработанных другими программистами кластера КемГУ (программа сортировки массива методом чет-нечетной перестановки и программа блочного умножения матрицы на вектор). С помощью системы были обнаружены семантические ошибки.

В ходе выполнения работы автором получены следующие новые результаты:

- предложен метод автоматизированного контроля корректности параллельных приложений на основе шаблонов ошибочного поведения;
- создана система описания шаблонов ошибочного поведения параллельных MPI-программ;

- разработана расширяемая библиотека шаблонов для распространенных семантических ошибок MPI-программ.

В результате подготовки диссертационной работы создано программное средство отладки, обнаруживающее шаблонные семантические ошибки во время работы параллельных программ на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной памятью. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается соответствием результатов используемого подхода при отладке параллельных программ выбранным шаблонам ошибочного поведения MPI-приложений.

Основные результаты диссертации отражены в 3 статьях, опубликованных в журналах, включенных в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций».

По работе имеются следующие замечания:

1. Область применения разработанной А.Ю. Власенко системы автоматизированного контроля корректности параллельных MPI-программ распространяется только на многопроцессорные вычислительные системы, функционирующие под операционной системой Microsoft HPC Server 2008. В тоже время, судя по последнему ноябрьскому списку TOP-500, таким требованиям отвечают только две системы из 500. Кроме того, в мире около половины параллельных программ, использующих стандарт Message Passing Interface, написаны или разрабатываются на языке Fortran. Для их отладки предлагаемая система также пока не применима.
2. Предлагаемый диссертантом подход обнаружения семантических ошибок в MPI-программах требует от пользователя значительного

уровня подготовки в области суперкомпьютерных технологий, поскольку в соответствии с этим подходом пользователь должен интуитивно предугадывать характер ошибки и подготовить для ее обнаружения соответствующий шаблон, причем корректность самого шаблона ничем не контролируется. Для начинающих программистов, разрабатывающих параллельные программы и потенциально способных произвести большее чем опытный программист количество семантических ошибок, необходимо создание банка «сертифицированных» и защищенных от пользователя шаблонов.

3. Использование знака «!» после ключевых слов стандарта MPI воспринимается не как отрицание, а как восклицание (см. стр. 57, 62 и т.д.).

### **Заключение**

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе представлены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение научной задачи, имеющей важное народнохозяйственное значение и связанной с автоматизированным контролем корректности параллельных MPI-программ на основе шаблонов ошибочного поведения.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Власенко Андрея Юрьевича «Автоматизированный контроль корректности MPI-программ на основе шаблонов ошибочного поведения» соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. Автор диссертации, Власенко А.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и

программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук, профессор,  
декан механико-математического факультета  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский  
государственный университет»,  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, корп.2, к. 417  
Тел.: 8-382-2529740  
E-mail: starch@math.tsu.ru

*А.С.М.*

05.6.2014

Старченко Александр Васильевич



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ  
ВСЕМИ ДОКУМЕНТАМИ УПРАВЛЕНИЯ  
ДЕЛАМИ И ОРГАНИЗАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ Н.Г. МИХЕЕВА