



В.Н. Ворожейкин, К.К. Енковский, В.А. Иванова, М.С. Кондратьев

## ТЕСТОВЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Актуальной задачей параллельных вычислений является определение показателей эффективности применяемых параллельных алгоритмов: оценка достигаемого ускорения (speedup)  $S_p(n)$ , получаемая при использовании параллельного алгоритма для  $p$  процессоров и сложности задачи  $n$ ; эффективность (efficiency)  $E_p(n)$  использования параллельным алгоритмом  $p$  процессоров (ядер) при решении задачи; стоимость (cost)  $C_p(n)$  вычислений, определяемой как произведение времени параллельного решения задачи и числа используемых процессоров и др.[1]. Сложность задачи  $n$  часто определяется ее размерностью - числом входных данных.

Показатели эффективности параллельных алгоритмов являются противоречивыми и действия по повышению значений одного из показателей могут привести к ухудшению значения другого показателя. Например, повышение ускорения  $S_p(n)$  обычно может быть обеспечено за счет увеличения числа  $p$  процессоров, что приводит, как правило, при фиксированной сложности задачи к уменьшению эффективности  $E_p(n)$ . И, наоборот, повышение эффективности  $E_p(n)$  достигается во многих случаях при уменьшении ускорения  $S_p(n)$ . Уменьшение времени решения задачи в показателе стоимость  $C_p(n)$  вычислений при его фиксированном значении приводит к увеличению числа  $p$  процессоров.

Кроме того, эффективность параллелизма в значительной мере зависит от того, в какой мере параллельный алгоритм учитывает архитектуру конкретной параллельной ВС.

Например, в параллельных алгоритмах достигнутый уровень параллелизма может оказаться избыточным, когда при проведении практических расчетов количество сформированных потоков превышает число имеющихся вычислительных устройств (процессоров и/или ядер). Также возможна ситуация, когда степень параллелизма недостаточна, что приводит к неэффективному использованию доступных вычислительных элементов.

Таким образом, эффективное применение параллельных алгоритмов в конкретной вычислительной системе основано на выборе некоторого компромиссного сочетания требуемых значений разных показателей эффективности:  $S_p(n)$ ,  $E_p(n)$ ,  $C_p(n)$  для определенной размерности  $n$  задачи.

Сложность определения такого компромиссного сочетания значений показателей эффективности еще более возрастает при разработке высокопроизводительных вычислительных систем для бортового применения и мобильных приложений, которая производится в условиях жестких ограничений на ресурсы (сложности, энергопотребления, габаритных, весовых параметров и др.).



Из вышесказанного следует актуальность проведения этапа тестирования конкретной вычислительной системы для получения значений показателей эффективности параллельных алгоритмов, реализуемых на ее платформе.

Для решения этой актуальной задачи разработан тестовый программный комплекс для определения показателей эффективности различных параллельных алгоритмов в вычислительных системах.

В составе библиотеки программного комплекса реализованы наиболее популярные базовые последовательные и параллельные обработки алгоритмы сортировки, обработки графов, решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матричного и матрично-векторного умножения.

Тестовый программный комплекс позволяет:

- настраивать количество используемых вычислительных потоков, а также объемы обрабатываемых данных.
- произвести выбор для моделирования из базы алгоритмов того или иного последовательного или параллельного алгоритмов;
- задать размерность исходных данных: вид и размер матрицы коэффициентов, количество ребер графа, коэффициенты линейных уравнений и т.п.;
- определить времена решения задач;
- исследовать зависимости времени решения задач от размерности и исходных данных, а также от числа используемых процессорных ядер;
- получить сравнительные оценки времени решения, ускорения, эффективности и стоимости для разных видов алгоритмов и др.

Примеры вычисленных программным комплексом показателей эффективности параллельных алгоритмов приведены в табл.1 и табл.2/

В табл.1 и табл.2 приведены обзорные отчеты по тестированию 4-х ядерной вычислительной системы с функцией hyper thread.

В табл.1 приведены измеренные времена выполнения параллельных алгоритмов и полученные ускорения для задач обработки графов, решения систем линейных алгебраических уравнений, сортировки и матрично-векторного умножения для задач разной размерности и использованием 2-х и 4-х поточной обработки с использованием технологии OpenMP.

В табл.2 приведены вычисленные показатели эффективности и стоимости вычислений для тех же параллельных алгоритмов и размерностей задач.

Кроме обзорных отчетов можно провести более глубокое тестирование по определенным видам алгоритмов.

Например, на рисунке 1 - рисунке 4 показан переход на тестирование вычислительной системы для оценки эффективности реализации на ее платформе параллельных алгоритмов решения (СЛАУ).



Таблица 1

Результаты тестовых вычислительных экспериментов

Данные	Алгоритм Флойда (графы)					Алгоритм Прима (графы)				
	Последовательный алгоритм	Параллельный алгоритм				Последовательный алгоритм	Параллельный алгоритм			
		2 потока		4 потока			2 потока		4 потока	
Вершины графа	Время	Время	Ускорение	Время	Ускорение	Время	Время	Ускорение	Время	Ускорение
1000	1,98	1,28	1,55	0,66	3,00	0,0053	0,0028	1,89	0,0016	3,313
2000	15,78	10,01	1,58	5,33	2,96	0,0137	0,0074	1,85	0,0041	3,34
3000	52,39	33,25	1,58	17,43	3,01	0,0307	0,0165	1,86	0,0086	3,57
Линейн. уравн.	Алгоритм Гаусса (линейные алгебр. уравнения)					Метод сопряженных градиентов (линейные алгебр. уравнения)				
1000	3,37	2,48	1,36	1,54	2,19	5,84	1,89	3,09	0,31	18,84
2000	24,26	14,81	1,64	10,56	2,3	69,32	5,15	13,46	4,09	16,95
3000	84,97	84,97	46,53	34,05	2,5	89,65	38,44	2,33	18,65	4,81
Эл-ты	Пузырьковая сортировка					Быстрая сортировка				
50000	2,3419	1,2582	1,86	0,9753	2,4	0,0046	0,0033	1,39	0,0036	1,26
100000	9,5963	5,1173	1,88	3,7639	2,55	0,0123	0,0096	1,28	0,0102	1,2
250000	60,1406	31,5055	1,91	22,313	2,7	0,0199	0,0163	1,22	0,017	1,17
Размерность	Умножения матрицы на вектор при ленточной схеме разделения данных по строкам					Умножения матрицы на вектор при ленточной схеме разделения данных по столбцам				
10000	0,25	0,15	1,65	0,17	1,7	0,25	0,15	1,63	0,13	1,96
30000	2,25	1,42	1,57	0,68	3,3	2,25	1,33	1,69	0,68	3,3
50000	6,3	3,43	1,82	1,8	3,5	6,3	3,27	1,9	1,76	3,56

Таблица 2

Эффективность использования параллельными алгоритмами ядер и стоимость параллельных алгоритмов при использовании 2 и 4 потоков

Количество	Эффективность				Стоимость			
	2 потока		4 потока		2 потока		4 потока	
Вершины графа	алгоритм Флойда	алгоритм Прима	алгоритм Флойда	алгоритм Прима	алгоритм Флойда	алгоритм Прима	алгоритм Флойда	алгоритм Прима
1000	0,775	0,945	1,5	1,6565	2,56	0,0056	2,64	0,0064
2000	0,79	0,925	1,48	1,67	20,02	0,0148	21,32	0,0164
3000	0,79	0,93	1,505	1,785	66,5	0,033	69,72	0,0344
Линейные уравнения	Алгоритм Гаусса	Метод сопряженных градиентов	Алгоритм Гаусса	Метод сопряженных градиентов	Алгоритм Гаусса	Метод сопряженных градиентов	Алгоритм Гаусса	Метод сопряженных градиентов
1000	0,68	1,54	0,55	4,71	4,96	3,78	6,16	1,24
2000	0,82	6,73	0,57	4,24	29,62	10,3	42,24	16,36
3000	0,91	1,17	0,62	1,2	93,06	76,88	136,2	74,6
Элементы	Пузырьковая сортировка	Быстрая сортировка	Пузырьковая сортировка	Быстрая сортировка	Пузырьковая сортировка	Быстрая сортировка	Пузырьковая сортировка	Быстрая сортировка
50000	0,93	0,695	0,6	0,315	2,517	0,0066	3,9012	0,0144
100000	0,94	0,64	0,6375	0,3	10,2346	0,0192	15,0556	0,408
250000	0,955	0,61	0,675	0,2925	63,011	0,0326	89,252	0,068
Размерность матрицы	умножение матрицы на вектор при ЛСРД по строкам	УМНВ при ЛСРД по столбцам	умножение матрицы на вектор при ЛСРД по строкам	УМНВ при ЛСРД по столбцам	умножение матрицы на вектор при ЛСРД по строкам	УМНВ при ЛСРД по столбцам	умножение матрицы на вектор при ЛСРД по строкам	УМНВ при ЛСРД по столбцам
10000	0,815	0,815	0,425	0,49	0,3	0,3	0,68	0,52
30000	0,785	0,845	0,825	0,825	2,84	2,66	2,72	2,72
50000	0,91	0,95	0,875	0,89	6,86	6,54	7,2	7,04

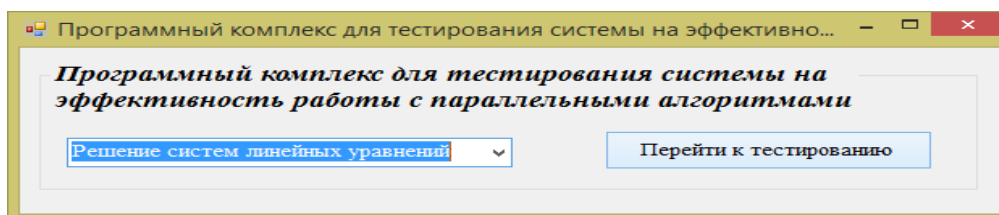


Рисунок 1 - Измерение эффективности параллельных алгоритмов решения СЛАУ

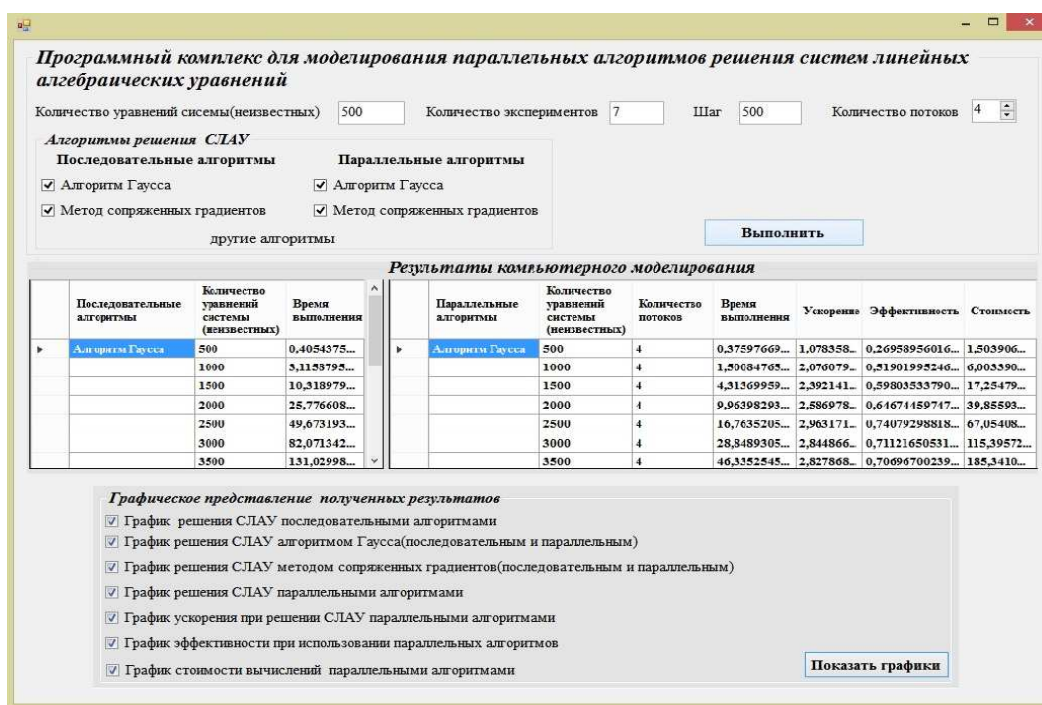


Рисунок 2 - Моделирование параллельных алгоритмов решения СЛАУ



Рисунок 3 – График решения СЛАУ параллельными алгоритмами для задачи анализа входных воздействий на объект

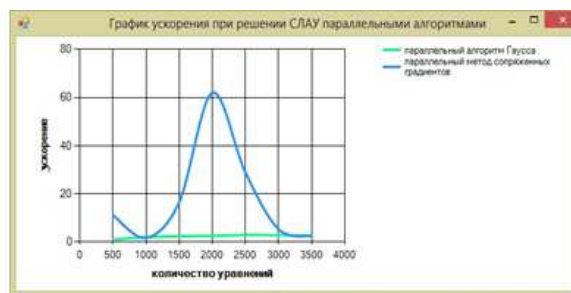


Рисунок 4 – График ускорения при выполнении моделирования параллельных алгоритмов решения СЛАУ, в зависимости от увеличения количества уравнений системы для задачи анализа входных воздействий на объект.

Проведенные на комплексе вычислительные эксперименты позволили разработать программное обеспечение и выбрать оптимальную по соотношению производительность-цена архитектуру вычислительной системы для обработки в реальном времени сигналов системы автоматической локомотивной сигнализации [2], обеспечивающей безопасность движения поездов.



## Литература

1. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 423 с.: ил.
2. Засов В.А., Ромкин М.В. Параллельные вычисления в задаче разделения сигналов в многомерных динамических системах //Труды VI международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления, РАСО-2012». – М.: Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, 2012. – С. 96-102.

В.А. Засов, М.С. Мутагаров

## МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Задачей идентификации входных сигналов является определение сигналов источников  $s_n(k)$ , недоступных для прямых измерений, по измеренным в доступных точках сигналам приемников, в которых сигналы представляют собой аддитивную смесь искаженных в процессе передачи сигналов источников.

Для решения этой широко распространенной на практике задачи в работе предлагается модель параллельного вычислительного устройства (ПВУ), реализующего нерекурсивный алгоритм разделения источников сигналов [1].

Разработку ПВУ будем производить на основе модели образования сигналов в физическом объекте, который представим в виде линейной многомерной динамической системы, имеющей  $N$  входов и  $M$  выходов. Входными сигналами модели являются сигналы  $s_n(k)$ ,  $n=1,2,\dots,N$ , выходными сигналами  $x_m(k)$ ,  $m=1,2,\dots,M$ . Входные сигналы – это сигналы, генерируемые различными источниками сигналов, а выходными сигналами этой системы могут являться сигналы различных приемных устройств, например, измерительных преобразователей и т.п. Положим, что каждый из  $M$  выходов такой многомерной системы связан со всеми  $N$  входами линейными каналами передачи сигналов.

Математическая модель образования сигналов описывается системой уравнений типа дискретной свертки (1), где  $m$  - ный наблюдаемый сигнал представляет собой аддитивную смесь искаженных каналами сигналов источников и шума [1], т.е.

$$x_m(k) = \sum_{n=1}^N \sum_{g=0}^{G-1} h_{mn}(g, \mathbf{I}) s_n(k-g) + y_m(k), \quad (1)$$

где  $m=1,\dots,M$ ;  $h_{mn}(g)$  - элемент  $M \times N$  матрицы  $\mathbf{h}(g)$  импульсных характеристик каналов, связывающих источники и приемники сигналов;