

УДК 004.3

**Ю.А. КОЧКАРЁВ, В.Ю. ВАХНИЙ, К.Р. ЗАВГОРОДНИЙ***Черкасский государственный технологический университет, Украина***АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ  
В СОВРЕМЕННЫХ СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ**

*Производится сравнительный анализ оценки эффективности распараллеливания вычислительных процессов в современных суперкомпьютерах, занимающих ведущие позиции в международном рейтинге суперкомпьютеров TOP 500 с предложенной автором карусельной многопроцессорной вычислительной системой (КМПВС), а также с давно известной системой ILLIAC-IV. Результаты исследования КМПВС показали, что данная система при определенных условиях позволяет обеспечить наиболее приближенное к максимальному значению оценки эффективности распараллеливания вычислительных процессов. КМПВС представляет практический интерес для реализации ее на современной элементной базе и проведении исследований на реальной структуре.*

**Ключевые слова:** *эффективность распараллеливания, вычислительные процессы, карусельная многопроцессорная вычислительная система, гипотеза Минского.*

**Введение**

История разработки многопроцессорных вычислительных систем (МПВС) насчитывает существенно более глубокую историю, чем те примерно семь десятков лет, когда однопроцессорная архитектура фон Неймана была предложена и затем приобрела господствующее положение в вычислительной технике.

Сначала XX века такое положение занимали аналоговые вычислительные машины (АВМ) [1], в которых все решающие блоки (РБ), (т.е., в определенном смысле, процессоры) работали параллельно над решением одной задачи. Далее, преодолевая ограниченную точность обработки информации в РБ АВМ, были разработаны ЭВМ [2] с дифференциальными анализаторами, в которых РБ обеспечивали цифровую точность.

Из-за слишком широкой номенклатуры дифференциальные анализаторы были вскоре заменены (по результатам работ К. Шеннона [3]) на РБ всего двух типов - интеграторы и сумматоры – в так называемых цифровых интегрирующих машинах (ЦИМ) [4]. Указанные ЦИМ превалировали на рынке МВС до середины 80-х годов XX века, когда все РБ в МВС были постепенно заменены на микропроцессоры (МП) [5].

Указанная элементная база РБ МПВС является господствующей и в настоящее время.

В связи с практическим исчерпанием возможностей дальнейшего ускорения вычислительных процессов в рамках широко известной архитектуры фон Неймана, дальнейший прогресс в увеличении

скорости обработки информации возможен только при разработке систем, основанных на параллельном использовании процессоров при решении поставленной задачи.

Проблема создания высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров) относится к числу наиболее сложных научно-технических задач современности, предполагает использование всех современных достижений науки и техники, и требует значительных финансовых инвестиций. Тем не менее, достигнутые в последнее время успехи в этой области являются весьма весомыми.

Так, в рамках принятой в США в 1995 г. программы Ускоренной стратегической компьютерной инициативы (Accelerated Strategic Computing Initiative - ASCI) была поставлена задача увеличения производительности супер-ЭВМ в 3 раза каждые 18 месяцев и достижение уровня производительности в 100 терафлопс/с в 2004 г.

Список [6] наиболее быстродействующих вычислительных систем TOP500 на данный момент возглавляет японский компьютер "К Computer", созданный компанией Fujitsu, на процессорах SPARC64 VIIIfx 2.0GHz и имеющий 705024 процессорных ядер, 1 410 048 Gb оперативной памяти, потребляющий при этом 12 659.89 Квт, и в четыре раза опережающий по уровню производительности своего соперника по второй строке рейтинга китайский компьютер Tianhe-1A. Победитель рейтинга суперкомпьютеров TOP500 расположен в Институте Вычислительных наук при научно-исследовательском центре RIKEN в Японии и работает с впе-

чатляющей производительностью в 10,51 Петафлопс, согласно измерениям на бенчмарке Linpack [7].

### Постановка задачи исследования

Выпускаемый, международный рейтинг [6] суперкомпьютеров TOP500, позволяет численно оценить параметры эффективности распараллеливания вычислительных процессов в современных суперкомпьютерах, т.е. в МПВС, построенных на самой современной технологической базе специально для параллельной работы процессоров и, тем самым, оценить успехи практически за 70 лет организации параллельной работы процессоров при решении поставленных задач.

Для оценки эффективности распараллеливания вычислительных процессов (ЭРВП) в однородных МВС можно использовать достаточно очевидную модель:

$$P(N) = P(1)F(N), \quad (1)$$

где  $N$  – количество процессоров в МПВС;

$P(N)$  – производительность МПВС, состоящей из  $N$  параллельно работающих процессоров;

$P(1)$  – производительность одиночных процессоров в составе МПВС;

$F(N)$  – функция, определяющая ЭРВП.

За идеальную ЭРВП можно принять достаточно очевидную функцию  $F(N)=N$ , т.е. считать, что идеальная ЭРВП имеет место в том случае, когда  $P(N)$  растет линейно с ростом  $N$ .

В рейтинге [6] суперкомпьютеров TOP500 употребляются термины «реальная производительность» МПВС, определяемая, как правило, при решении тестовой задачи с использованием теста Linpack [7] и «пиковая производительность», определяемая как суммарная производительность всех процессоров в МПВС, т.е. фактически используется оценочная модель

$$P(N) = P(1) k N, \quad (2)$$

где  $P(N)$  – «реальная производительность» [6];

$NP(1)$  – «пиковая производительность» [6];

$k$  – рейтинговая ЭРВП, которая непосредственно приводится в [6] или легко вычисляется как отношение  $\frac{P(N)}{P(1)N}$  из [6].

Таким образом, в [6] принята модель  $F(N)=kN$ . Указанная модель имеет очевидный недостаток – в ней ЭРВП растет линейно с ростом  $N$ , что представляется малореальным.

Более реальная оценка ЭРВП предложена в [9]

$$P(N) = P(1)N^\alpha, \quad (\alpha \leq 1) \quad (3)$$

где  $\alpha \leq 1$  – собственно показатель ЭРВП, который для идеального распараллеливания равен единице, а для реальных случаев показывает степень близости к идеалу. Для оценки близости к идеалу ЭРВП современных суперкомпьютеров на основе (3), приравняв (3) и (2), получим

$$kN = N^\alpha, \quad (4)$$

$$\text{отсюда } k = \frac{N^\alpha}{N} = N^{\alpha-1}.$$

После логарифмирования получаем

$$\alpha = \frac{\log k}{\log N} + 1. \quad (5)$$

На рис. 1 представлены рассчитанные авторами по исходным данным первой десятки рейтинга TOP500 МВС зависимости ЭРВП от количества процессоров, работавших в тестовой задаче при определении значения  $k$  в (2). Результаты расчета  $\alpha$  представлены графиками с обозначениями номеров из TOP500 в диапазоне изменения  $N$  до  $\log(N)=6$ , до миллиона микропроцессоров.

На рис. 1 приведены также данные по известной МПВС ILLIAC-IV, эксперименты на которой привели к так называемой «гипотезе Минского», согласно которой

$$P(N) = P(1) \log_2 N. \quad (6)$$

При этом показатель  $\alpha$  имеет вид

$$\alpha = \frac{\log_2(\log_2 N)}{\log_2 N}. \quad (7)$$

Следует отметить, что моделированием МВС типа ЦОС [8] (цифровые однородные сетки) указанная гипотеза была опровергнута.

Из рис. 1 видно, что у всех МПВС, для которых вычислены значения ЭРВП, кроме КМПВС показатель  $\alpha$  не превышает 0,9947.

В этих условиях представляется достаточно перспективной для реализации так называемая, карусельная МПВС (КМПВС). Результаты моделирования КМПВС [9] показали, что указанная система при определенных условиях позволяет обеспечить предельное значение  $\alpha=1$ .

Результаты моделирования КМПВС приведены в [9] на виртуальной структуре, содержащей кольцевое запоминающее устройство в виде кольцевого многозарядного регистра сдвига, с количеством ячеек, соответствующим количеству узлов в рабочей области решаемой задачи. В указанном регистре часть ячеек непосредственно связана с процессорами и называются реперными. Дистанция между соседними реперными ячейками является важной величиной, определяющей значение показателя  $\alpha$ .

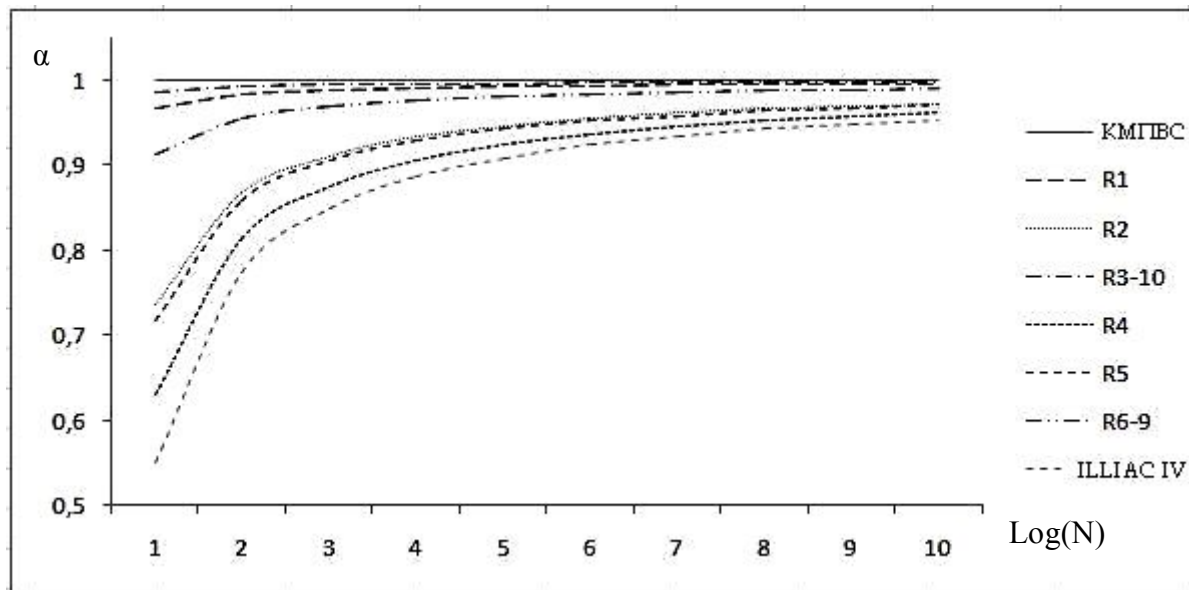


Рис. 1. Эффективность распараллеливания вычислительных процессов в современных суперкомпьютерах по данным международного рейтинга TOP500:  
 R1 – K computer, Fujitsu (Япония); R2 – NUDT YH MPP, NUDT (Китай);  
 R3 – Cray XT5-HE, Cray Inc. (США); R4 – Dawning TC3600 Blade System, Dawning (США);  
 R5 – HP ProLiant SL390s G7, NEC/HP (Япония); R6 – Cray XE6, Cray Inc. (США);  
 R7 – SGI Altix ICE 8200EX/8400EX (США); R8 – Cray XE6, Opteron 6172 12C 2.10GHz, Custom, Cray Inc. (США); R9 – Bull bullx super-node S6010/S6030, Bull SA, (Франция);  
 R10 – BladeCenter QS22/LS21 Cluster, IBM, (США)

Из рис. 1 следует, что представляет практический интерес реализация КМПВС на современной элементной базе и проведение ее исследований уже на реальной структуре.

### Выводы

1. Эффективность распараллеливания вычислительных процессов в современных суперкомпьютерах на данный момент еще достаточно далека от идеальной.
2. Наилучшие показатели ЭРВП имеет карусельная МПВС, которая, однако, требует реализации на современной элементной базе для дальнейшего её исследования на реальной структуре.
3. Карусельная многопроцессорная вычислительная система позволяет, при выполнении определенных условий, обеспечить идеальную, то есть 100% ЭРВП.

### Литература

1. Гутенмахер, Л.И. Электрические модели [Текст] / Л. И. Гутенмахер. – М.: Мир, 1949. – 144 с.
2. Корн, Г.А. Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины [Текст]: пер. с англ. / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Мир, 1968. – 311 с.

3. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике [Текст]: пер. с англ. / К. Шеннон. – М.: Изд. иностр. лит., 1963. – 668 с.

4. Каляев, А.В. Введение в теорию цифровых интеграторов [Текст] / А.В. Каляев. – К.: Наукова думка, 1964. – 291 с.

5. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления [Текст] / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608 с.

6. Павлов, С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынка [Текст] / С.Павлов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2011. – №5 (65). – С. 74 – 80.

7. Dongarra, Jack J. The LINPACK Benchmark: Past, Present, and Future [Text] / Jack J. Dongarra, Piotr Luszczek, Antoine Petitet. – University of Tennessee & Oak Ridge National Laboratory, USA. – July 2002. – №7. – С. 34 – 38.

8. Николаев, И.А. Вычислительные системы с итерационными цифровыми однородными сетками для решения уравнений математической физики [Текст]: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / И.А. Николаев; Таганрог, 1976. – 38 с.

9. Кривенко, Н.И. Компьютерное моделирование эффективности многопроцессорной обработки данных при решении уравнений математической физики [Текст] / Н.И. Кривенко, И.В. Дробот // Материалы V Украинской конференции автоматического управления "Автоматика – 98". – К.: Издательство НТУУ КПИ, 1998. – С. 62 – 64.

Поступила в редакцію 31.05.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. математических и компьютерных дисциплин В.Г. Рябцев, Европейский университет, Черкасский филиал, Черкассы.

### АНАЛІЗ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У СУЧАСНИХ СУПЕРКОМП'ЮТЕРАХ

*Ю.О. Кочкар'єв, В.Ю. Вахній, К.Р. Завгородній*

Проводиться порівняльний аналіз оцінки ефективності розпаралелювання обчислювальних процесів у сучасних суперкомп'ютерах, що займають провідні позиції в міжнародному рейтингу суперкомп'ютерів TOP500 з запропонованою автором карусельною багато процесорною обчислювальною системою (КБПОС) і вже давно відомою системою ILLIAC-IV. Результати дослідження КБПОС показали, що дана система при певних умовах дозволяє забезпечити найбільш наближене до максимального значення оцінки ефективності розпаралелювання обчислювальних процесів. КБПОС становить практичний інтерес реалізації її на сучасній елементній базі і проведенні досліджень на реальній структурі.

**Ключові слова:** ефективність розпаралелювання, обчислювальні процеси, карусельна багато процесорна обчислювальна система, гіпотеза Мінського.

### ANALYSES OF PARALLELIZATION EFFICIENCY OF COMPUTING PROCESSES IN MODERN SUPERCOMPUTERS

*U.A. Kochkarev, V.U. Vahnij, K.R. Zavgorodnij*

Performed a comparative analysis evaluating the effectiveness of parallel computing processes in modern supercomputers, occupying a leading position in the international ranking of the TOP500 supercomputer with the proposed author carousel multi-processor computer system (CMPCS) and has long been known system ILLIAC-IV. Results of the study CMPCS showed that the system under certain conditions can provide the most approximate to the maximum value of assessing the effectiveness of parallel computing processes. CMPCS is of practical interest for the realization of its on modern base and research on the actual structure.

**Keywords:** efficiency of parallelization, the computational process, carousel multiprocessor computer system, the hypothesis Minskiy.

**Кочкар'єв Юрій Александрович** - д-р техн. наук, проф., професор кафедри інформатики и информационной безопасности, ЧГТУ, Черкассы, Украина.

**Вахній Вікторія Юрьевна** – аспірант кафедри інформатики и информационной безопасности, ЧГТУ, Черкассы, Украина, e-mail: vahnij.viktoria@yandex.ua.

**Завгородній Константин Романович** – магістрант кафедри інформатики и информационной безопасности, ЧГТУ, Черкассы, Украина.