

基于 HPCC 和层次分析法的高性能计算系统评价模型*

刘川意¹⁺, 汪东升^{1,2}

¹(清华大学 计算机科学与技术系,北京 100084)

²(清华大学 微处理器与片上系统技术研究中心,北京 100084)

AHPCC: A High Performance Computer System Evaluation Model Based on HPCC and Analytic Hierarchy Process

LIU Chuan-Yi¹⁺, WANG Dong-Sheng^{1,2}

¹(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

²(Microprocessor and SOC Technology R&D Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62773691, E-mail: cy-liu04@mails.tsinghua.edu.cn

Liu CY, Wang DS. AHPCC: A high performance computer system evaluation model based on HPCC and analytic hierarchy process. *Journal of Software*, 2007,18(4):1039–1046. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/18/1039.htm>

Abstract: HPCC (high performance computing challenge) benchmark is issued by DARPA HPCS (high productivity computing system) project which is meant to define the program performance boundaries, and it has received broad attention from both industry and academy. But actually, HPCC is not very popular now, which mostly can be attributed to its multiple performance parameters. Because of lacking of a unique and clear evaluation mark, HPCC requests the analyzers and deciders to make a decision manually from the several test results. This paper proposes AHPCC—A high performance computer system evaluation model based on HPCC and analytic hierarchy process. When the candidate systems run the HPCC benchmark set and obtain the evaluation results, AHPCC builds the hierarchy structure graph based on these benchmark results and the application objects, then calculates the related weight vector for the application object, and finally it gives a unique weight for the ultimate application object per candidate system. This paper calculates and analyses the AHPCC results for 12 high performance systems which have been measured by HPCC benchmark set. The experimental results indicate that AHPCC model can efficiently and correctly evaluate the application characteristics of high performance systems.

Key words: HPCC (high performance computing challenge) benchmark; analytic hierarchy process; system evaluation

摘要: HPCC(high performance computing challenge)基准是由 DARPA 的 HPCS(high productivity computing system)项目所发布的评价高性能计算系统的测试基准程序,自推出至今,受到工业界和学术界的广泛关注.但是,HPCC 仍有不尽如人意之处,主要表现在其测试结果是若干个指标项,需要测试者和决策者根据这些测试指标项进行分析和评估,缺少一个整体的、直观而统一的评价结果.提出一种基于 HPCC 和层次分析法的高性能计

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60273006 (国家自然科学基金)

Received 2005-10-17; Accepted 2006-02-23

算系统评价模型——AHPCC(a high performance computer system evaluation model based on HPCC),当系统通过运行 HPCC 得到测试结果后,使用 AHPCC 模型对这些测试参数按系统应用目标建立层次结构图,并最终计算得到各系统关于特定应用目标的单一分数.以 12 个已测出 HPCC 性能参数的系统为例,使用 AHPCC 模型计算并分析了系统评价结果.实验结果表明,AHPCC 模型提供了实际系统的统一而直观的评价指标,其评价结果符合高性能系统的设计和应用特点.

关键词: HPCC(high performance computing challenge)基准;层次分析法;系统评价
中图分类号: TP302 文献标识码: A

HPCC(high performance computing challenge)基准^[1,2]是由 DARPA 的 HPCS(high productivity computing system)^[3]项目所发布的帮助定义程序性能边界的测试基准程序.

DARPA HPCS 项目致力于为国家安全和工业界提供经济可行的下一代高性能计算机系统.它定义了如何评价和测量高端计算领域(high end computing,简称 HEC)计算机系统的生产力(productivity),即:

- (1) Performance,即高性能.用以提高计算性能、效率,以及提高关键安全应用的性能;
- (2) Programmability,即可编程性.减少成本并且减少 HPCS 应用方案的开发时间;
- (3) Portability,即可移植性.将系统级的研究和 HPCS 应用程序级的软件分离开,提高系统的平台移植性;
- (4) Robustness,即健壮性.提高 HPCS 系统的可靠性,减少恶意行为的概率.

HPCC 基准是由若干知名的内核测试程序组成,使用比 HPL(high performance Linpack)^[4]更具挑战性的 KERNEL 来测试 HPC 系统的性能,它是 TOP500 的一个补充,由具有极端空间局部性和时间局部性的程序构成,形成了实际应用程序性能的边界.

但是,当前,HPCC 仍然没有被广泛接受,这主要是其测试结果是若干个指标项,需要决策者根据所有这些测试指标进行手动分析和评估,比较费时和麻烦.

因此,本文设计了基于 HPCC 和层次分析法的高性能计算系统评价模型——AHPCC(a high performance computer system evaluation model based on HPCC),当给定的系统用 HPCC 基准程序测试集测出各项基本性能指标后,拟通过 AHPCC 模型,依据应用的需求对各性能指标进行半定量分析,最后得出各待选系统的相对指标以供决策和选择.此时,若选定某个特定系统的最后指标为标准,则通过该模型可以得到测试系统的单一指标值,因此极大地方便了最终用户的选择.

本文第 1 节介绍和分析 HPCC benchmark 的组成、功能及其运行和测试模式.第 2 节详细描述和分析 AHPCC 高性能计算系统评价模型及其框架和层次结构图,并以 12 个已测出 HPCC 性能参数的系统为例,使用 AHPCC 模型计算并分析系统评价结果.第 3 节对 AHPCC 和实验结果进行总结.

1 HPCC benchmark 简介

HPCC 基准是由若干知名的内核测试程序组成,旨在测试系统空间局部性和时间局部性的跨度.HPCC 由 4 个局部的内核测试程序、4 个全局的内核测试程序以及通信和延时测试(communication bandwidth and latency)程序组成.

其中,局部的内核测试程序包括:(1) 双精度矩阵乘法(matrix-matrix multiply);(2) 内存带宽测试,STREAM^[5],它主要测试稳定的系统内存带宽;(3) RandomAccess(GUPS),主要测试内存的随机更新速率;(4) FFT(fast Fourier transformation),双精度复数一维 DFT,用 FFTE 实现^[6].

全局的内核测试程序包括:(5) HPL,它主要测试系统的峰值性能;(6) PTRANS(parallel matrix transpose),主要测试多处理器的内存之间传送大规模数组的速率;(7) RandomAccess(GUPS);(8) FFT,双精度复数一维 DFT.

通信和延时测试是基于 b_eff(effective bandwidth benchmark)^[7],它主要测试在时间参数可行的情况下,尽可能多的处理器之间复杂通信模式所需要的带宽和延时.

因此,HPCC 测试工具集的目的是为了测试实际应用程序空间局部性和时间局部性的性能边界.另外,因为

所有的 HPCC 测试程序都是由简单的算术运算构成的,这使得测试能够检查和评价与不同的语言和编程模型相关的问题.如图 1 所示^[2].

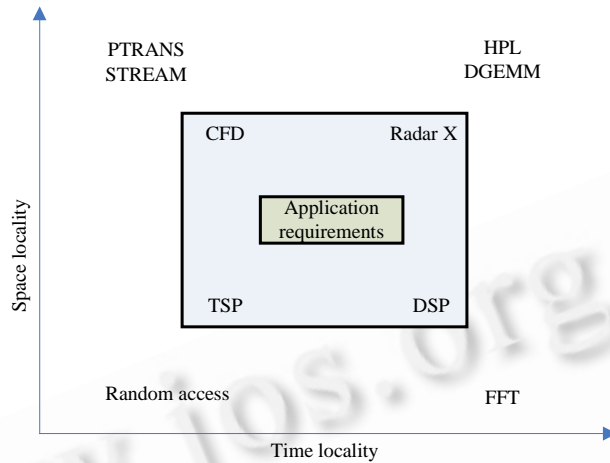


Fig.1 The temporal and space locality of HPCC benchmark set

图 1 HPCC 中各测试程序的时空局部性

HPCC 测试集中的程序运行在两种模式下,即单处理器(single processor),也即上文中所说的局部(local)以及全系统(complete system),也即上文中说的全局(global).测试的场景可分为以下 3 种:

- (1) Local,即只有一个处理器运行测试程序;
- (2) Embarrassingly Parallel,即每一个系统中的处理器都要运行测试程序的相关计算任务,但是它们相互之间不进行显式通信(explicit communication);
- (3) Global,即每一个系统中的处理器都要运行测试程序的相关计算任务,并且它们之间进行显式通信.

可以看出,多数以上提到的这些测试程序都是在 HPCC 基准之前就已经产生并使用了的,但是,HPCC 基准绝不是简单地把它们组合在一起做一个简单的封装,而是将这些基准程序以统一的参数和环境在同一个系统中运行,使研究者和用户能够对系统性能和测试结果有一个全面和完善的考察. HPCC 基准可以在相同的环境下产生一个非预测的系统性能测试情况,便于根据用户的需求进行各种分析.

但是在现阶段, Linpack 仍然是最为广泛接受的 benchmark, HPCC 仍然不流行:一方面, HPCC 推出不久,研究者和测试人员还不习惯该测试程序的使用;另一方面,也是最重要的方面, HPCC 的测试结果是若干个指标项,需要决策者根据所有这些测试指标进行分析和评价,缺少一个整体的、直观而统一的评价结果,比较费时和麻烦.

2 AHPCC 模型设计与分析

2.1 层次分析法简介

层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP)^[8]是对一些较为复杂和模糊的问题作出决策的简易方法,特别适用于那些难以完全定量分析的问题.它是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的一种多准则决策方法.

运用层次分析法建模,大体上可按下面 4 个步骤进行:

(1) 建立递阶层次结构模型

根据具体问题构造层次结构模型.在此模型下,复杂问题被分解为若干元素组成,而这些元素又按其属性及关系形成若干层次.上一层次元素作为准则对下一层次有关元素起支配作用.层次结构反映了因素之间的关系,但准则层中的各准则在目标衡量中所占的比重并不一定相同,因此,下一层次元素以上一层次元素为

则分配权重向量.

(2) 构造各层次中的所有判断矩阵

设第 k 层 n_k 个元素对于第 $k-1$ 层上第 j 个元素为准则的排序权重向量为

$$P_j^{(k)} = (P_{1j}^{(k)}, P_{2j}^{(k)}, \dots, P_{n_k j}^{(k)})^T,$$

其中不受 j 元素支配的元素权重为 0.若第 $k-1$ 层上有 n_{k-1} 个元素,则 $n_k \times n_{k-1}$ 阶矩阵:

$$P^{(k)} = (P_1^{(k)}, P_2^{(k)}, \dots, P_{n_{k-1}}^{(k)})^T \tag{1}$$

称为第 k 层 n_k 个元素对于第 $k-1$ 层 n_{k-1} 个元素的判断矩阵,表示第 k 层上元素对 $k-1$ 层上各元素的排序权重.

(3) 层次单排序及一致性检验

判断矩阵 $P^{(k)}$ 对应于最大特征值 λ_{\max} 的特征向量,经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值,这一过程称为层次单排序.

在综合全部比较结果时,如果比较结果是前后完全一致的,则矩阵 $P^{(k)}$ 的元素应当满足

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k=1, 2, \dots, n \tag{2}$$

(4) 层次总排序及一致性检验

若已算出第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素相对于总目标的权重向量:

$$W^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T,$$

则第 k 层上元素对目标的总排序权重向量 $W^{(k)}$ 为

$$W^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{n_k}^{(k)})^T = P^{(k)} \cdot W^{(k-1)} \tag{3}$$

2.2 基于HPCC和改进的层次分析法的系统评价模型——AHPCC

基于 HPCC 和改进的层次分析法的系统评价模型层次结构图如图 2 所示.

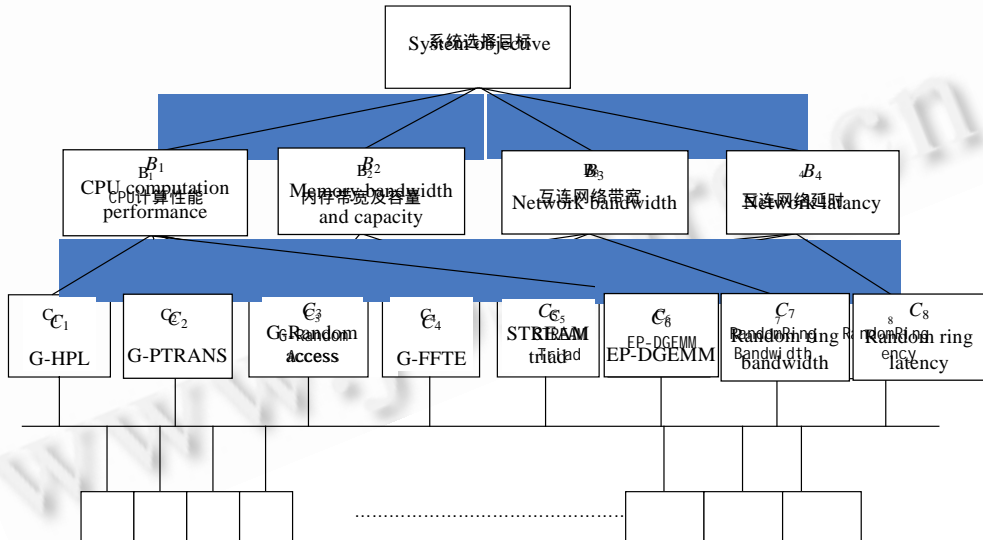


Fig.2 Hierarchical architecture graph of AHPCC evaluation model

图 2 AHPCC 系统评价模型层次结构图

其中,系统选择目标根据应用的不用有不同的选择,如:数据库服务器、科学计算集群、存储服务器等.系统选择目标是模型的最终目标;该目标由 $B_i (1 \leq i \leq 4)$ 这 4 个因素决定,而 $B_i (1 \leq i \leq 4)$ 由更下一层的 $C_i (1 \leq i \leq 8)$ 因素决定,分别说明如下:

C_1 :G-HPL 用 MPI 求解随机生成的参数为双精度浮点数(IEEE 64-bit)的线性方程组,其单位为 Tera flops per

second; C_2 :G-PTRANS 用 MPI 库实现了并行矩阵转置,它测试了处理器之间同时通信的能力.它对于网络整体通信性能的评价也是有用的.单位为 Giga bytes per second; C_3 :G-Random access 也称为 GUPs,测试了处理器更新随机生成的内存地址内容的速率.其单位为 Giga updates per second; C_4 :G-FFTE 进行全局 FFTE 测试,它将输入向量分布于所有的处理器节点.单位为 Giga Flops per Second; C_5 :EP-STREAM Triad 为合成基准程序,它测试了稳定内存带宽和相应的内核简单向量计算能力,采用第 2 节中提到的 Embarrassingly parallel 方式运行,最后的测试结果对所有节点速率的算术平均值.单位为 Giga bytes per second; C_6 :EP-DGEMM 通过运行 BLAS(basic linear algebra subprograms)库中的 DGEMM 子函数,计算两个双精度实数矩阵的乘法,测试了单节点处理器浮点运算的速率,单位为 Giga flops per second; C_7 :Random ring bandwidth 报告了在环通信方式中节点之间的平均通信带宽,单位为 Giga bytes per second; C_8 :Random ring latency 测试了环通信方式中节点之间的平均通信延时,单位为 micro-seconds.

由 $C_j(1 \leq j \leq 8)$ 测试程序的内容可以得到 $B_i(1 \leq i \leq 4)$ 和 $C_j(1 \leq j \leq 8)$ 的相互关系,若 $B_i(1 \leq i \leq 4)$ 和 $C_j(1 \leq j \leq 8)$ 有线相连,则表示 $B_i(1 \leq i \leq 4)$ 由 $C_j(1 \leq j \leq 8)$ 决定,如图 2 所示.

$D_k(k=1,2,\dots,12)$ 为层次结构图的最底层,这一层次包括了为实现目标可供选择的各种系统.

AHPCC 采用以下方法计算各层次中的判断矩阵:

(1) 若各个因素相对于其父准则的权重可直接被定量计算,则可将它们进行归一化,进而得到权重向量.

1) 若各因素 $u_i (i=1,2,\dots,m)$ 对其父准则 Z 的定量权重分别为数值 $e_i (i=1,2,\dots,m)$,则通过归一化公式:

$$r_i = \frac{e_i}{\sum_{j=1}^m e_j} \quad (4)$$

得到 $u_i (i=1,2,\dots,m)$ 对于 Z 的权重向量为

$$W=(r_1, r_2, \dots, r_m) \quad (5)$$

2) 若各因素 $u_i (i=1,2,\dots,m)$ 对其父准则 Z 的定量权重分别为 m 个 n 维向量 A_1, A_2, \dots, A_m ,且已知最佳 n 维向量 $A_0=(a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n})$,定义:

A_j 相对于 A_0 的贴进度为

$$r_{j0} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{d_{j0}}} \quad (6)$$

其中, $d_{j0} = |A_j - A_0| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_{jk} - a_{0k})^2}$, $j=1,2,\dots,m$.

可知: $\sum_{j=1}^m r_{j0} = 1$, 则有 $u_i (i=1,2,\dots,m)$ 对于 Z 的权重向量为

$$W=(r_{10}, r_{20}, \dots, r_{m0}) \quad (7)$$

(2) 若各个因素相对于其父准则的权重是不易被定量计算的,则通过两两比较的方法来构造判断矩阵,从而求其权重^[8,9].针对准则 Z ,两个元素 u_i 相对于 u_j 的重要性可用表 1 进行赋值.

这样,对于准则 Z , n 个被比较元素通过两两比较构造一个判断矩阵:

$$A=(a_{ij})_{n \times n} \quad (8)$$

其中, a_{ij} 是元素 u_i 相对于 u_j 的重要性的比例标度.

最后,通过特征根法^[9]求得判断矩阵的权重向量.

若已算出第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素相对于总目标的权重向量 $W^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T$, 以及第 k 层 n_k 个元素对于第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素的判断矩阵 $P^{(k)} = (P_1^{(k)}, P_2^{(k)}, \dots, P_{n_{k-1}}^{(k)})^T$, 则最底层第 h 层上各待选方案元素对目标的总排序权重向量 $W^{(h)}$ 为

$$W^{(h)} = P^{(k)} \cdot P^{(k-1)} \cdot P^{(3)} \cdot \dots \cdot W^{(2)} \tag{9}$$

这里, $W^{(2)}$ 是第 2 层上元素的总排序权重向量.

Table 1 The scale of quantitative comparisons of elements

表 1 元素重要性量化比较标度

Quantitative scale	Description
1	With equal importance
3	The prior is a little bit more important
5	The prior is obviously more important
7	The prior is highly more important
9	The prior is extremely more important
2,4,6,8	The internal values between the above adjunct two values
Reciprocal	$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

2.3 AHPCC模型分析

表 2 和表 3 为 12 个高性能计算系统用 HPCC 得到的测试结果^[10]. 其中, 表 2 为各系统的主要配置参数, 表 3 为 HPCC 的各项测试结果.

Table 2 The parameters of high performance systems measured by HPCC benchmark set

表 2 用 HPCC 测试的高性能系统参数

Index	Manufacturer	System	Processor type	Processor speed (GHz)	Processor count from form
1	IBM corporation	p575 cluster	IBM power 5	1.9	64
2	undisclosed	undisclosed	AMD opteron	2.4	64
3	Cray	XT3	AMD opteron	2.4	3744
4	NEC	NEC SX-8	NEC SX-8	2	576
5	Cray	Cray X1E	CrayX1E MSP	1.13	252
6	Cray	XD1	AMD opteron	2.4	128
7	Cray	mfeg8	Cray X1E	1.13	248
8	Cray	XT3	AMD opteron	2.6	1 100
9	IBM	Blue gene	IBM powerPC 440	0.7	1 024
10	IBM	Blue gene/L	IBM powerPC 440	0.7	1 024
11	SGI	Altix 3700 Bx2	Intel itanium 2	1.6	1 008
12	SGI	Altix 3700 Bx2	Intel itanium 2	1.6	32

Table 3 The measure results of HPCC

表 3 HPCC 测试结果

Index	PTRANS (GB/s)	EP STREAM triad (GB/s)	Single random access (GUP/s)	Random ring		EP DGEMM (GFlop/s)	Single FFT (GFlop/s)
	Per system	Per process	Per process	Latency (ms)	Bandwidth (GB/s)	Per process	Per process
1	9.386 65	5.425 89	0.016 35	6.634 15	0.244 57	7.236 38	0.671 004
2	4.597 42	2.490 06	0.022 557 6	15.195 2	0.183 465	4.201 4	0.646 643
3	608.506	4.846 79	0.019 564 2	25.318 5	0.161 643	4.413 3	0.618 284
4	312.707	40.895 4	0.333 513	22.271 3	0.829 24	15.223 2	1.244 25
5	85.204	9.682 48	0.079 991 9	14.934 4	0.360 239	14.184 7	0.431 237
6	13.515 5	3.906 76	0.011 250 6	2.062 31	0.259 191	4.334 35	0.601 971
7	66.009 8	13.229 5	0.249 107	14.576	0.298 865	13.564	2.452 29
8	217.923	4.795 18	0.019 493 1	25.942 4	0.286 379	4.810 5	0.716 041
9	27.578 5	0.848 086	0.006 687 02	4.809 56	0.034 606	0.919 151	0.228 859
10	27.993 9	0.842 652	0.006 686 71	4.829 71	0.034 552	2.466 69	0.228 908
11	105.666	1.892 37	0.005 130 14	6.818 43	0.202 881	5.884 04	0.775 613
12	6.050 3	2.001 55	0.005 468 89	3.263 53	1.518 75	5.992 85	0.739 038

不妨考虑系统选择目标为高性能科学计算服务器, 则由 AHPCC 模型, 根据式(4)和式(5)可计算出各方案 D_i ($1 \leq i \leq 12$) 相对于 HPCC 的测试结果 C_i ($1 \leq i \leq 8$) 的归一化判断矩阵为 $P^{(4)}$.

$$P^{(4)} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ \begin{matrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \\ D_9 \\ D_{10} \\ D_{11} \\ D_{12} \end{matrix} & \left\{ \begin{matrix} 0.00632 & 0.059719 & 0.021075 & 0.045236 & 0.055403 & 0.086944 & 0.071733 \\ 0.003096 & 0.027406 & 0.029077 & 0.103612 & 0.041561 & 0.050479 & 0.069129 \\ 0.40973 & 0.053345 & 0.025218 & 0.172639 & 0.036617 & 0.053025 & 0.066097 \\ 0.210558 & 0.450109 & 0.429896 & 0.151861 & 0.18785 & 0.182904 & 0.133016 \\ 0.057371 & 0.106569 & 0.103109 & 0.101833 & 0.081606 & 0.170427 & 0.046101 \\ 0.009101 & 0.042999 & 0.014502 & 0.014062 & 0.058715 & 0.052076 & 0.064353 \\ 0.044447 & 0.145608 & 0.321097 & 0.099389 & 0.067703 & 0.162969 & 0.262161 \\ 0.146736 & 0.052777 & 0.025126 & 0.176893 & 0.064874 & 0.057797 & 0.076548 \\ 0.01857 & 0.009334 & 0.00862 & 0.032795 & 0.007839 & 0.011043 & 0.024466 \\ 0.018849 & 0.009275 & 0.008619 & 0.032932 & 0.007827 & 0.029637 & 0.024471 \\ 0.071149 & 0.020828 & 0.006613 & 0.046493 & 0.045959 & 0.070696 & 0.082917 \\ 0.004074 & 0.02203 & 0.007049 & 0.022253 & 0.034046 & 0.072003 & 0.079007 \end{matrix} \right. \end{matrix}.$$

通过用表 1 对 $C_i(1 \leq i \leq 8)$ 进行两两比较,并根据统计科学计算中各种指令对 CPU 速度、内存容量、带宽以及互连网络的要求,可以得到 $C_i(1 \leq i \leq 8)$ 对于 $B_i(1 \leq i \leq 4)$ 的归一化判断矩阵 $P^{(3)}$.

$$P^{(3)} = \begin{matrix} & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \end{matrix} & \left\{ \begin{matrix} 0.35 & 0 & 0.35 & 0.30 \\ 0.20 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0.10 & 0 & 0.15 & 0.20 \\ 0.30 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.50 \end{matrix} \right. \end{matrix}.$$

最后,根据高性能科学计算服务器对系统的要求,得到 $B_i(1 \leq i \leq 4)$ 对于总目标的判断矩阵 $P^{(2)}$ 为

$$P^{(2)} = \{0.50, 0.15, 0.10, 0.25\}^T.$$

所以,由式(3)和式(9),各系统方案 $D_i(1 \leq i \leq 12)$ 对于总目标的归一化权重向量为

$$W^{(4)} = P^{(4)} \cdot P^{(3)} \cdot P^{(2)},$$

$$W^{(4)} = \{0.0396, 0.0445, 0.1797, 0.2529, 0.0861, 0.0271, 0.1400, 0.1078, 0.0191, 0.0201, 0.0502, 0.0329\}^T.$$

在这 12 个待选系统中,系统 D_4 最适合于用作高性能科学计算服务器,其次是系统 D_3 ,最不适合用作高性能科学计算服务器的是系统 D_9 .回到表 1 和表 2 进行直观观察,系统 D_4 是由德国斯图加特高性能计算中心(High Performance Computing Center in Stuttgart)研制的,其设计目标即为研究开发领域提供最先进的超级计算机,与用 AHPCC 模型得到的结果是吻合的.系统 D_3 Cray XT3 是 Cray 公司生产的第三代大规模并行处理器(MPP),它采用高度可扩展的体系结构,很适用于进行大规模高性能科学计算.

3 结 论

HPCC 是由 DARPA 的 HPCC 项目所发布的帮助定义程序性能边界的测试基准程序. HPCC 测试工具集是由若干知名的内核测试程序组成的,HPCC 将这些基准程序以统一的参数和环境在同一个系统中运行,使研究者和用户能够对系统性能和测试结果有一个全面而完善的考察. HPCC 可以在相同的环境下产生一个非预测的系统性能测试情况,便于根据用户的需求进行各种分析.

但是在现阶段,HPCC 仍然不够流行,这主要是因为其测试结果是若干个指标项,需要决策者根据所有这些测试指标进行分析和评价,故缺少一个整体的、直观而统一的评价结果,比较费时和麻烦.

本文提出一种基于 HPCC 和层次分析法的高性能计算系统评价模型——AHPCC,当系统通过运行 HPCC 得到测试结果后,使用 AHPCC 模型对这些测试参数按系统应用目标建立层次结构图,并最终计算得到各系统

关于特定应用目标的单一分数.本文以 12 个已测出 HPCC 性能参数的系统为例,使用上述模型计算并分析了系统评价结果.实验证明,AHPCC 模型的评价结果符合高性能系统的设计和应用特点.

References:

- [1] Dongarra J, Luszczek P. Introduction to the HPCChallenge benchmark suite. ICL Technical Report, ICL-UT-05-01, 2005.
- [2] Luszczek P, Dongarra J, Koester D, Rabenseifner R, Lucas B, Kepner J, McCalpin J, Bailey D, Takahashi D. Introduction to the HPC challenge benchmark suite. 2005.
- [3] High productivity computer systems. <http://www.highproductivity.org/>
- [4] Dongarra JJ, Luszczek P, Petitet A. The LINPACK benchmark: Past, present, and future. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2003,15:1–18.
- [5] McCalpin J. STREAM: Sustainable memory bandwidth in high performance computers. <http://www.cs.virginia.edu/stream/>
- [6] Takahashi D, Kanada Y. Highperformance radix-2, 3 and 5 parallel 1-D complex FFT algorithms for distributed-memory parallel computers. *The Journal of Supercomputing*, 2000,15(2):207–228.
- [7] Rabenseifner R, Koniges AE. Effective communication and file-i/o bandwidth benchmarks. In: Dongarra J, Cotronis Y, eds. *Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface, Proc. of the 8th European PVM/MPI Users' Group Meeting (EuroPVM/MPI 2001)*. LNCS 2131, Santorini, 2001. 24–35.
- [8] Saaty TL. *What is the Analytic Hierarchy Process? Mathematical Models for Decision Support* Archive. New York: Springer-Verlag, 1988. 109–121.
- [9] Wang LF. *Introduction to Analytic Hierarchy Process*. Beijing: Renmin University Press, 1990 (in Chinese).
- [10] Condensed candidate systems results for HPCC benchmark. 2006. http://icl.cs.utk.edu/hpcc/hpcc_results.cgi

附中文参考文献:

- [9] 王蓬芬. *层次分析法引论*.北京:中国人民大学出版社,1990.



刘川意(1982 -),男,四川乐山人,博士生,主要研究领域为高性能计算,计算机系统结构.



汪东升(1966 -),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为高性能计算,计算机系统结构.