并行 Linpack 性能测试程序 HPL 简介

张林波
中国科学院数学与系统科学研究院
科学与工程计算国家重点实验室

2001 年 9 月 25 日

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **本文档可从网上自由下载**

  `ftp://ftp.cc.ac.cn/pub/home/zlb/hpl-intro.ps`

- **相关链接**

  – Top500 Supercomputer Sites:

    `http://www.netlib.org/benchmark/top500.html`

    `http://netlib.amss.ac.cn/benchmark/top500.html` (国内镜像)

  – Clusters@TOP500:

    `http://clusters.top500.org/`

  – Frequently Asked Questions on the Linpack Benchmark and Top500:

    `http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/faq-linpack.html`

    `http://netlib.amss.ac.cn/utk/people/JackDongarra/faq-linpack.html` (国内镜像)

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **HPL: A Portable Implementation of High Performance Linpack Benckmark**

  其前身称为 HPC (Linpack's Highly Parallel Computing benchmark).

- **软件作者**

  A. Petitet, R. C. Whaley, J. Dongarra, A. Cleary,

  Innovative Computing Laboratory,

  Computer Science Department, University of Tennessee.

- **软件下载**

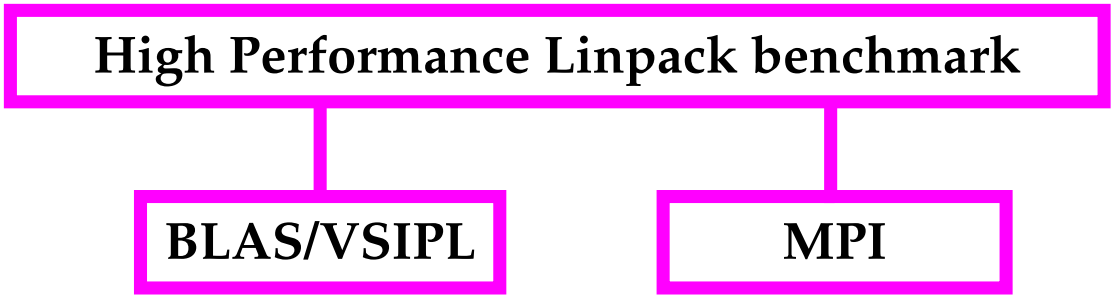
  - `http://www.netlib.org/benchmark/hpl/`
  - `http://netlib.amss.ac.cn/benchmark/hpl/` (国内镜像)

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **算法、功能与特点**
  - 行主元 LU 分解求解大型稠密线性代数方程组.
  - 消息传递并行，适用于 MPP 和机群系统 (也可用于其它并行系统，如 SMP 等).
  - 给出误差估计和程序的实际计算速度 (Gflops).
  - 高性能、高并行效率、高可扩展性.
  - 适用于大规模并行 Linpack 性能测试 (Highly Parallel Linpack benchmark)

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **系统要求**
  - C 编译器
  - 消息传递环境： MPI 1.1
  - BLAS (Basic Linear Algebra Subroutines)
    或 VSIPL (Vector Signal Image Processing Library).



并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **选取适当的 BLAS 库**
  - 使用 BLAS 的标准 Fortran/C 源程序:
    `http://www.netlib.org/blas/`
    `http://netlib.amss.ac.cn/blas/` (国内镜像)
    缺点：性能低，通常 $<\sim 10\%$ 峰值.
  - 厂家提供的 BLAS, 通常包含在操作系统或开发环境中.
  - ASCI-Red 高速 BLAS (适用于 x86 系列处理器， Linux/Solaris):
    `http://www.cs.utk.edu/~ghenry/distrib`
  - Intel Math Kernel Library, 适合 x86 Windows 9x/NT 平台:
    `http://developer.intel.com/software/products/mkl/`
  - ATLAS: Automatically Tuned Linear Algebra Software.
    `http://www.netlib.org/atlas/`
    `http://netlib.amss.ac.cn/atlas/` (国内镜像)
    特点：各种平台通用、高性能 (推荐)

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **编译 HPL**
  - 下载源代码:

    `http://www.netlib.org/benchmark/hpl/hpl.tgz`

    `http://netlib.amss.ac.cn/benchmark/hpl/hpl.tgz` (国内镜像)
  - 展开 HPL 源代码, 进入源代码顶层目录:

    ```
    % gzip -dc hpl.tgz | tar xpvf -
    % cd hpl
    ```

    注意: 应该在用户主目录下展开 `hpl`, 否则 `make` 时会出错.
  - 仔细阅读文件 【*INSTALL*】, 其中包含安装说明.
  - 在 `setup` 目录中选择一个文件 `Make.xxxx`, 将其拷贝至顶层目录, 如:

    ```
    % cp setup/Make.Linux_PII_FBLAS .
    ```

    根据系统中 MPI 与 BLAS/VSIPL 的情况对 `Make.xxxx` 做相应修改, 然后键入 `make arch=xxxx`, 如:

    ```
    % make arch=Linux_PII_FBLAS
    ```

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **运行 HPL**
  - 仔细阅读文件 【*TUNING*】:
    ```
    % vi TUNING
    ```
  - 进入可执行程序子目录 bin/xxxx, 如:
    ```
    % cd bin/Linux_PII_FBLAS
    ```
  - 编辑、修改 HPL.dat 中的参数:
    ```
    % vi HPL.dat
    ```
  - 运行 xhpl ...
- **HPL 输入文件**

  【*HPL.dat*】

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **输出结果**

```
================================================================================
HPLinpack 1.1  --  High-Performance Linpack benchmark  --  January 1, 2001
Written by A. Petitet and R. Clint Whaley,  Innovative Computing Labs.,  UTK
================================================================================

... ...

================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time             Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
W02C2R1         2000    64     2     2               6.33          8.434e-01
--------------------------------------------------------------------------------
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_1  * N        ) =        0.0147384 ...... PASSED
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_1  * ||x||_1  ) =        0.0035825 ...... PASSED
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_oo * ||x||_oo ) =        0.0007784 ...... PASSED
================================================================================

... ...
```

其中 T/V 列出主要参数， N 为方程组阶数， NB 为分块大小， P × Q 为处理器划分， Time 为计算时间 *(*墙上时间*)*, Gflops 为程序所达到的实际性能 *(*即 *Linpack* 性能，以十亿次 */* 秒为单位*)*.

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

- **如何获得好的性能？**
  - 选用高性能 BLAS 或 VSIPL 库.
  - 寻找最优分块大小 NB, 以及最优处理器划分方式 P 和 Q.
  - 在内存容量许可的前题下尽量加大测试问题的规模.
  - 其它参数的选取.

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

处理器数	方程阶数	时间 (秒)	Gflops	加速比	并行效率 (%)
1	7424	621.95	0.44	1.00	100.00
2	10496	934.26	0.83	1.88	94.06
4	14912	1407.45	1.57	3.58	89.53
6	18240	1750.50	2.31	5.27	87.80
8	21056	2074.00	3.00	6.84	85.51
10	23552	2348.88	3.71	8.45	84.52
16	29824	3102.66	5.70	12.99	81.21
24	36544	3744.68	8.69	19.81	82.53
32	42176	4359.56	11.47	26.15	81.70
36	44736	4664.92	12.80	29.18	81.05
40	47168	4997.71	14.00	31.91	79.78
48	51648	5583.93	16.45	37.50	78.12
64	59648	6393.34	22.13	50.44	78.82
80	66752	7270.14	27.28	62.18	77.73
104	76096	8130.35	36.13	82.36	79.19

实例 1: PC 机群, PIII 550E, Fast Ethernet, MPICH 1.2.1/ch_p4

并行 *Linpack* 性能测试程序 *HPL* 简介

处理器数	方程阶数	时间 (秒)	Gflops	加速比	并行效率 (%)
1	7424	618.23	0.44	1.00	100.00
2	10496	940.45	0.82	1.86	92.87
4	14912	1427.19	1.55	3.51	87.73
8	21056	2083.94	2.99	6.77	84.59
16	29824	3088.58	5.73	12.97	81.08
32	42176	4464.96	11.20	25.37	79.29
48	51648	5798.67	15.84	35.89	74.76
64	59648	6510.02	21.73	49.23	76.92
80	66752	7373.15	26.89	60.92	76.15
96	73088	8403.25	30.98	72.50	75.52
108	77504	8801.98	35.26	79.88	73.96
114	79680	9099.71	37.06	83.96	73.65
120	82000	8968.55	40.99	92.86	77.39

实例 2: PC 机群, PIII 550E, Fast Ethernet, LAM MPI 6.4a3