# Linpack 标准测试程序及分析

## ·介绍

Linpack 现在在国际上已经成为最流行的用于测试高性能计算机系统浮点性能的 benchmark。通过利用高性能计算机，用高斯消元法求解 N 元一次稠密线性代数方程组的测试，评价高性能计算机的浮点性能。
Linpack 测试包括三类，Linpack100、Linpack1000 和 HPL。Linpack100 求解规模为 100 阶的稠密线性代数方程组，它只允许采用编译优化选项进行优化，不得更改代码，甚至代码中的注释也不得修改。Linpack1000 要求求解规模为 1000 阶的线性代数方程组，达到指定的精度要求，可以在不改变计算量的前提下做算法和代码上做优化。

## ·HPL：

HPL 即 High Performance Linpack，也叫高度并行计算基准测试，它对数组大小 N 没有限制，求解问题的规模可以改变，除基本算法（计算量）不可改变外，可以采用其它任何优化方法。前两种测试运行规模较小，已不是很适合现代计算机的发展，因此现在使用较多的测试标准为 HPL，而且阶次 N 也是 linpack 测试必须指明的参数。
HPL 是针对现代并行计算机提出的测试方式。用户在不修改任意测试程序的基础上，可以调节问题规模大小 N(矩阵大小)、使用到的 CPU 数目、使用各种优化方法等来执行该测试程序，以获取最佳的性能。HPL 采用高斯消元法求解线性方程组。当求解问题规模为 N 时，浮点运算次数为(2/3 * N^3 – 2*N^2)。因此，只要给出问题规模 N，测得系统计算时间 T，峰值=计算量(2/3 * N^3 – 2*N^2)/计算时间 T，测试结果以浮点运算每秒（Flops）给出。

## ·具体测试方法：

**1． Linpack 安装条件：**
在安装 HPL 之前，系统中必须已经安装了编译器、并行环境 MPI 以及基本线性代数子方程(BLAS)或矢量图形信号处理库(VSIPL)两者之一。
编译器必须支持 C 语言和 Fortran77 语言。并行环境 MPI 一般采用 MPICH

**2． 安装与编译：**
第一步，从 www.netlib.org/benchmark/hpl 网站上下载 HPL 包 hpl.tar.gz 并解包，目前 HPL 的最新版本为 hpl 1.0a。
第二步，编写 Make 文件。从 hpl/setup 目录下选择合适的 Make.<arch>文件 copy 到 hpl/目录下，如：Make.Linux_PII_FBLAS 文件代表 Linux 操作系统、PII 平台、采用 FBLAS 库；Make.Linux_PII_CBLAS_gm 文件代表 Linux 操作系统、PII 平台、采用 CBLAS 库且 MPI 为 GM。修改的内容根据实际环境的要求，在 Make 文件中也作了详细的说明。主要修改的变

量有：
ARCH： 必须与文件名 Make.<arch>中的<arch>一致
TOPdir：指明 hpl 程序所在的目录
MPdir： MPI 所在的目录
MPlib： MPI 库文件
LAdir： BLAS 库或 VSIPL 库所在的目录
LAinc、LAlib：BLAS 库或 VSIPL 库头文件、库文件
HPL_OPTS：包含采用什么库、是否打印详细的时间、是否在 L 广播之前拷贝 L
若采用 FLBAS 库则置为空，采用 CBLAS 库为"-DHPL_CALL_CBLAS"，采用 VSIPL 为"-DHPL_CALL_VSIPL"
"-DHPL_DETAILED_TIMING"为打印每一步所需的时间，缺省不打印
"-DHPL_COPY_L"为在 L 广播之前拷贝 L，缺省不拷贝（这一选项对性能影响不是很大）
CC： C 语言编译器
CCFLAGS：C 编译选项
LINKER：Fortran 77 编译器
LINKFLAGS：Fortran 77 编译选项（Fortran 77 语言只有在采用 Fortran 库是才需要）
第三步，编译。在 hpl/目录下执行 make arch=<arch>，<arch>即为 Make.<arch>文件的后缀，生成可执行文件 xhpl(在 hpl/<arch>/bin 目录下)

**3． 运行：**
运行 hpl 之前，需要修改配置文件 hpl.dat(在 hpl/<arch>/bin 目录下)，次配置文件每一项代表的意思在文档第三部分说明。
HPL 的运行方式和 MPI 密切相关，不同的 MPI 在运行方面有一定的差别。
在 hpl/<arch>/bin 目录下执行：mpirun –np <N> xhpl。这种运行方式读取$(MPICH 安装目录)/share/machines.LINUX 配置文件
测试结果输出到指定文件中(在配置文件 hpl.dat 中定义)，缺省文件名为 HPL.out。

**4． 查看结果**
HPL 允许一 `次顺序做多个不同配置测试，所以结果输出文件（缺省文件名为 HPL.out）可能同时有多项测试结果。
在文件的第一部分为配置文件 hpl.dat 的配置。
使用基准测试一般需要和收集的信息包括：
R: 它是系统的最大的理论峰值性能，按 GFLOPS 表示。
N: 给出有最高 GFLOPS 值的矩阵规模或问题规模。正如拇指规则，对于最好的性能，此数一般不高于总内存的 80%。
Rmax: 在 Nmax 规定的问题规模下，达到的最大 GFLOPS。
NB: 对于数据分配和计算粒度，HPL 使用的块尺度 NB。小心选择 NB 尺度。从数据分配的角度看，最小的 NB 应是理想的；但太小的 NB 值也可以限制计算性能。虽然最好值取决于系统的计算/通信性能比，但有代表性的良好块规模是 32 到 256 个间隔。

**部分测试结果截图如下：**

```
================================================================================
HPLinpack 2.3  --  High-Performance Linpack benchmark  --   December 2, 2018
Written by A. Petitet and R. Clint Whaley,  Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Piotr Luszczek, Innovative Computing Laboratory, UTK
Modified by Julien Langou, University of Colorado Denver
================================================================================

An explanation of the input/output parameters follows:
T/V    : Wall time / encoded variant.
N      : The order of the coefficient matrix A.
NB     : The partitioning blocking factor.
P      : The number of process rows.
Q      : The number of process columns.
Time   : Time in seconds to solve the linear system.
Gflops : Rate of execution for solving the linear system.

The following parameter values will be used:

N      :   20000    21000
NB     :     192      232      256
PMAP   : Column-major process mapping
P      :       2
Q      :       2
PFACT  :    Left    Crout    Right
NBMIN  :       2        4
NDIV   :       2
RFACT  :    Left    Crout    Right
BCAST  :   1ring
DEPTH  :       0
SWAP   : Mix (threshold = 64)
L1     : transposed form
U      : transposed form
EQUIL  : yes
ALIGN  : 8 double precision words

--------------------------------------------------------------------------------
```

```
--------------------------------------------------------------------------------

- The matrix A is randomly generated for each test.
- The following scaled residual check will be computed:
      ||Ax-b||_oo / ( eps * ( || x ||_oo * || A ||_oo + || b ||_oo ) * N )
- The relative machine precision (eps) is taken to be               1.110223e-16
- Computational tests pass if scaled residuals are less than                16.0

================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time                 Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
WC00L2L2       20000   192     2     2             70.19             7.5989e+01
HPL_pdgesv() start time Thu Dec 19 18:04:44 2019

HPL_pdgesv() end time   Thu Dec 19 18:05:54 2019

--------------------------------------------------------------------------------
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=   1.96540913e-03 ...... PASSED
================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time                 Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
WC00L2L4       20000   192     2     2             95.09             5.6094e+01
HPL_pdgesv() start time Thu Dec 19 18:05:59 2019

HPL_pdgesv() end time   Thu Dec 19 18:07:34 2019

--------------------------------------------------------------------------------
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=   2.19344350e-03 ...... PASSED
================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time                 Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
WC00L2C2       20000   192     2     2             70.22             7.5961e+01
HPL_pdgesv() start time Thu Dec 19 18:07:38 2019

HPL_pdgesv() end time   Thu Dec 19 18:08:48 2019

--------------------------------------------------------------------------------
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=   1.96540913e-03 ...... PASSED
================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time                 Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
WC00L2C4       20000   192     2     2             93.84             5.6841e+01
HPL_pdgesv() start time Thu Dec 19 18:08:51 2019

HPL_pdgesv() end time   Thu Dec 19 18:10:25 2019

--------------------------------------------------------------------------------
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)=   2.19344350e-03 ...... PASSED
================================================================================
T/V                N    NB     P     Q               Time                 Gflops
--------------------------------------------------------------------------------
WC00L2R2       20000   192     2     2             68.69             7.7653e+01
HPL_pdgesv() start time Thu Dec 19 18:10:29 2019

HPL_pdgesv() end time   Thu Dec 19 18:11:38 2019

--------------------------------------------------------------------------------
```