



Report Common Assignment 1

Counting Sort Algorithm

Lecturer: Francesco Moscato - fmoscato@unisa.it

Group:

- | | | |
|----------------------|------------|--|
| • Battipaglia Lucia | 0622701758 | l.battipaglia6@studenti.unisa.it |
| • Canzolino Gianluca | 0622701806 | g.canzolino3@studenti.unisa.it |
| • Farina Luigi | 0622701754 | l.farina16@studenti.unisa.it |

Index

Index	2
Problem description	4
Experimental setup	4
Hardware	4
CPU	4
RAM	5
Software	6
Performance, Speedup & Efficiency	6
Case study n°1	7
Size-1'000-O0	7
Size-1'000-O1	8
Size-1'000-O2	9
Size-1'000-O3	10
Size-10'000-O0	11
Size-10'000-O1	12
Size-10'000-O2	13
Size-10'000-O3	14
Size-100'000-O0	15
Size-100'000-O1	16
Size-100'000-O2	17
Size-100'000-O3	18
Size-1'000'000-O0	19
Size-1'000'000-O1	20
Size-1'000'000-O2	21
Size-1'000'000-O3	22
Size-10'000'000-O0	23
Size-10'000'000-O1	24
Size-10'000'000-O2	25
Size-10'000'000-O3	26
Size-100'000'000-O0	27
Size-100'000'000-O1	28
Size-100'000'000-O2	29
Size-100'000'000-O3	30
Case study n°2	31
Size-1'000-O0	32
Size-1'000-O1	33
Size-1'000-O2	34
Size-1'000-O3	35
Size-10'000-O0	36
Size-10'000-O1	37
Size-10'000-O2	38
Size-10'000-O3	39

Size-100'000-O0	40
Size-100'000-O1	41
Size-100'000-O2	42
Size-100'000-O3	43
Size-1'000'000-O0	44
Size-1'000'000-O1	45
Size-1'000'000-O2	46
Size-1'000'000-O3	47
Size-10'000'000-O0	48
Size-10'000'000-O1	49
Size-10'000'000-O2	50
Size-10'000'000-O3	51
Size-100'000'000-O0	52
Size-100'000'000-O1	53
Size-100'000'000-O2	54
Size-100'000'000-O3	55
Considerations	56
Final considerations	57
How to run	58

Problem description

Lo scopo di questo studio è quello di esaminare le performance della parallelizzazione dell'algoritmo di ordinamento “**counting sort**”, il quale è semplice da implementare senza il processo di parallelizzazione. Per raggiungere l'obiettivo, abbiamo utilizzato le direttive MPI.

Experimental setup

Hardware

CPU

Per poter ottenere le informazioni riguardante la CPU, è stato usato il seguente comando:

```
$ cat /proc/cpuinfo
```

Configuration 1

```
processors      : 16
vendor_id      : AuthenticAMD
cpu family     : 23
model          : 113
model name     : AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor
stepping        : 0
microcode       : 0x8701021
cpu MHz         : 3599.998
cache size      : 512 KB
physical id     : 30
siblings         : 1
core id         : 0
cpu cores       : 1
apicid          : 30
initial apicid  : 30
fpu              : yes
fpu_exception   : yes
cpuid level     : 16
wp               : yes
flags            : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr
pge mca cmov pat pse36 clflush mmx fxsr sse sse2 syscall nx mmxext
fxsr_opt pdpe1gb rdtscp lm constant_tsc rep_good nopl tsc_reliable
nonstop_tsc cpuid extd_apicid pnpi pclmulqdq ssse3 fma cx16 sse4_1
sse4_2 x2apic movbe popcnt aes xsave avx f16c rdrand hypervisor
lahf_lm extapic cr8_legacy abm sse4a misalignsse 3dnowprefetch osvw
topoext ssbd ibpb vmmcall fsgsbase bmi1 avx2 smep bmi2 rdseed adx
smap clflushopt clwb sha_ni xsaveopt xsavec xgetbv1 xsaves clzero
wbnoinvd arat umip rdpid overflow_recov succor
```

```
bugs : fxsave_leak sysret_ss_attrs spectre_v1 spectre_v2
spec_store_bypass
bogomips : 7199.99
TLB size : 3072 4K pages
clflush size : 64
cache_alignment : 64
address sizes : 45 bits physical, 48 bits virtual
```

RAM

Per poter ottenere le informazioni riguardante la memoria RAM, è stato usato il seguente comando:

```
$ cat /proc/meminfo
```

Configuration 1

```
MemTotal: 12356456 kB
MemFree: 9120332 kB
MemAvailable: 10299128 kB
Buffers: 50220 kB
Cached: 1366740 kB
SwapCached: 0 kB
Active: 710156 kB
Inactive: 1780916 kB
Active(anon): 2292 kB
Inactive(anon): 1119192 kB
Active(file): 707864 kB
Inactive(file): 661724 kB
Unevictable: 0 kB
Mlocked: 0 kB
SwapTotal: 945368 kB
SwapFree: 945368 kB
Dirty: 4 kB
Writeback: 0 kB
AnonPages: 1074220 kB
Mapped: 477688 kB
Shmem: 47364 kB
KReclaimable: 94364 kB
Slab: 203680 kB
SReclaimable: 94364 kB
SUnreclaim: 109316 kB
KernelStack: 14176 kB
PageTables: 21292 kB
NFS_Unstable: 0 kB
Bounce: 0 kB
WritebackTmp: 0 kB
CommitLimit: 7123596 kB
Committed_AS: 4808032 kB
```

```
VmallocTotal:    34359738367 kB
VmallocUsed:      62152 kB
VmallocChunk:        0 kB
Percpu:          91136 kB
HardwareCorrupted:   0 kB
AnonHugePages:       0 kB
ShmemHugePages:       0 kB
ShmemPmdMapped:       0 kB
FileHugePages:       0 kB
FilePmdMapped:       0 kB
HugePages_Total:      0
HugePages_Free:       0
HugePages_Rsvd:       0
HugePages_Surp:       0
Hugepagesize:         2048 kB
Hugetlb:            0 kB
DirectMap4k:        296768 kB
DirectMap2M:        6125568 kB
DirectMap1G:        7340032 kB
```

Software

Il sistema operativo è un linux-based OS, il quale gira su WLS2 per il primo caso di studio e su macchina virtuale VMware Virtual Machine (versione 16) per il secondo caso di studio.

Specifiche:

- Linux version 5.11.0-38-generic
- Ubuntu 21.04 LTS
- GCC 10.3.0

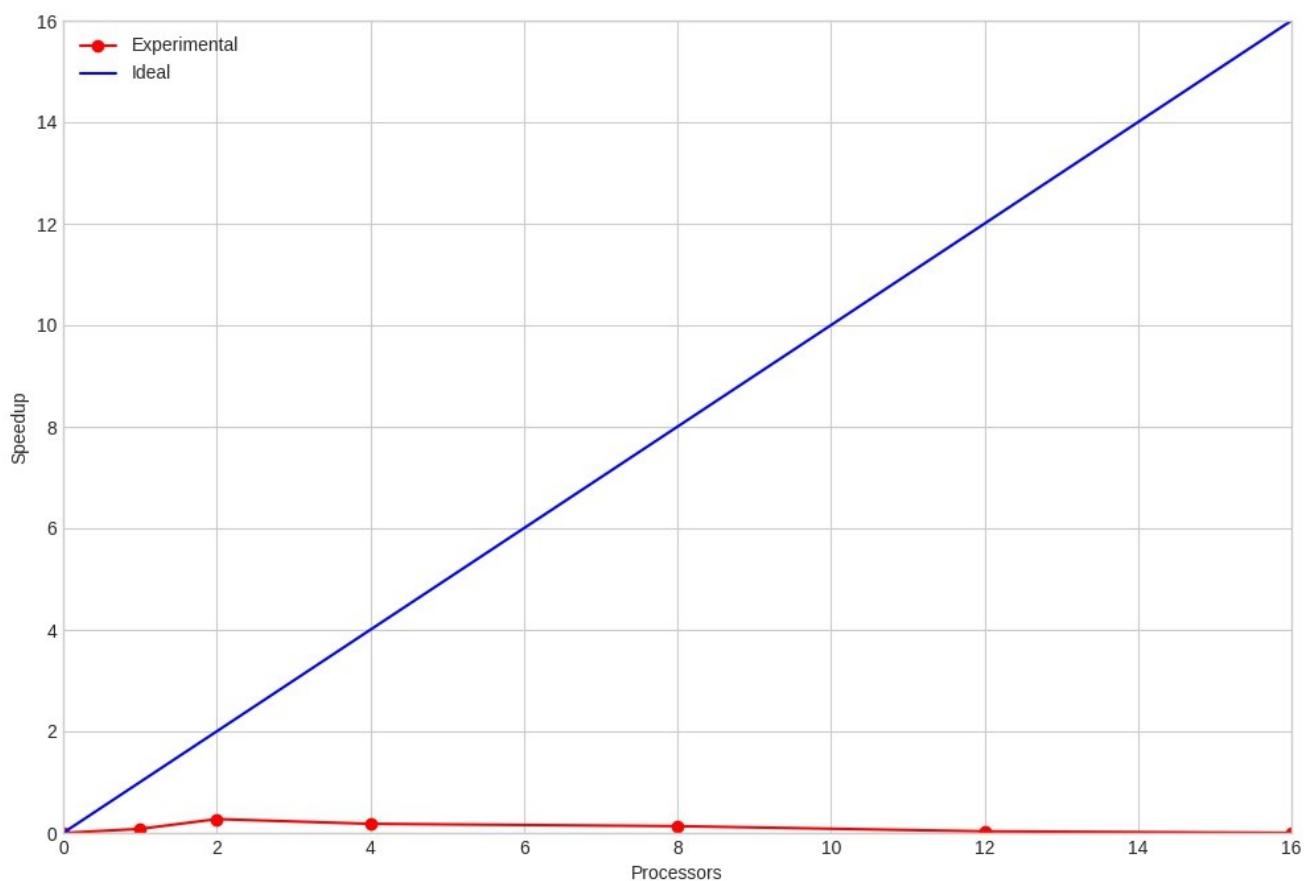
Performance, Speedup & Efficiency

Case study n°1 (WLS2)

In questo caso di studio, quello che si vuole analizzare è la differenza tra il programma sequenziale e quello parallelo. Entrambe le versioni sono state testate e analizzate compilandole con varie ottimizzazioni e utilizzando un diverso numero di processi. Non è stato effettuato un solo caso di studio, bensì, sono state esaminate diverse dimensioni del vettore da ordinare (1'000, 10'000, 100'000, 1'000'000, 10'000'000, 100'000'000) con un numero differente di processi (1, 2, 4, 8, 12, 16) per ognuna di esse.

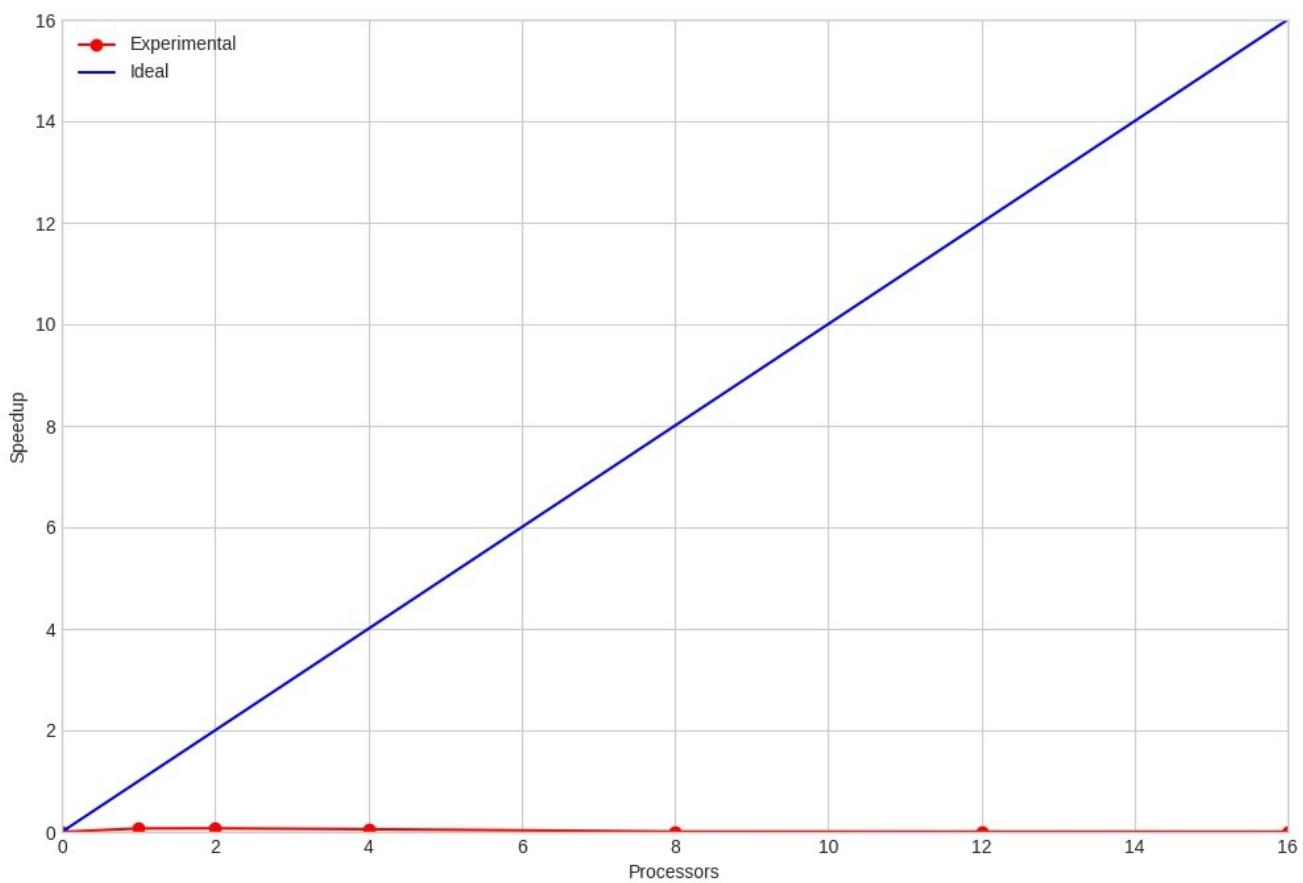
Size-1'000-O0

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	9,00E-06	9,00E-06	8,00E-06	9,00E-06	1	1
Parallel	1	0,000113	3,10E-05	3,10E-05	0,00015	0,079646018	0,079646018
Parallel	2	3,30E-05	3,10E-05	3,00E-05	3,50E-05	0,272727273	0,136363636
Parallel	4	5,00E-05	5,90E-05	3,80E-05	4,10E-05	0,18	0,045
Parallel	8	6,70E-05	0,000271	6,40E-05	0,000332	0,134328358	0,016791045
Parallel	12	0,000281	0,000276	0,000278	0,00027	0,03202847	0,002669039
Parallel	16	0,004301	0,001209	0,000343	0,001731	0,002092537	0,000130784



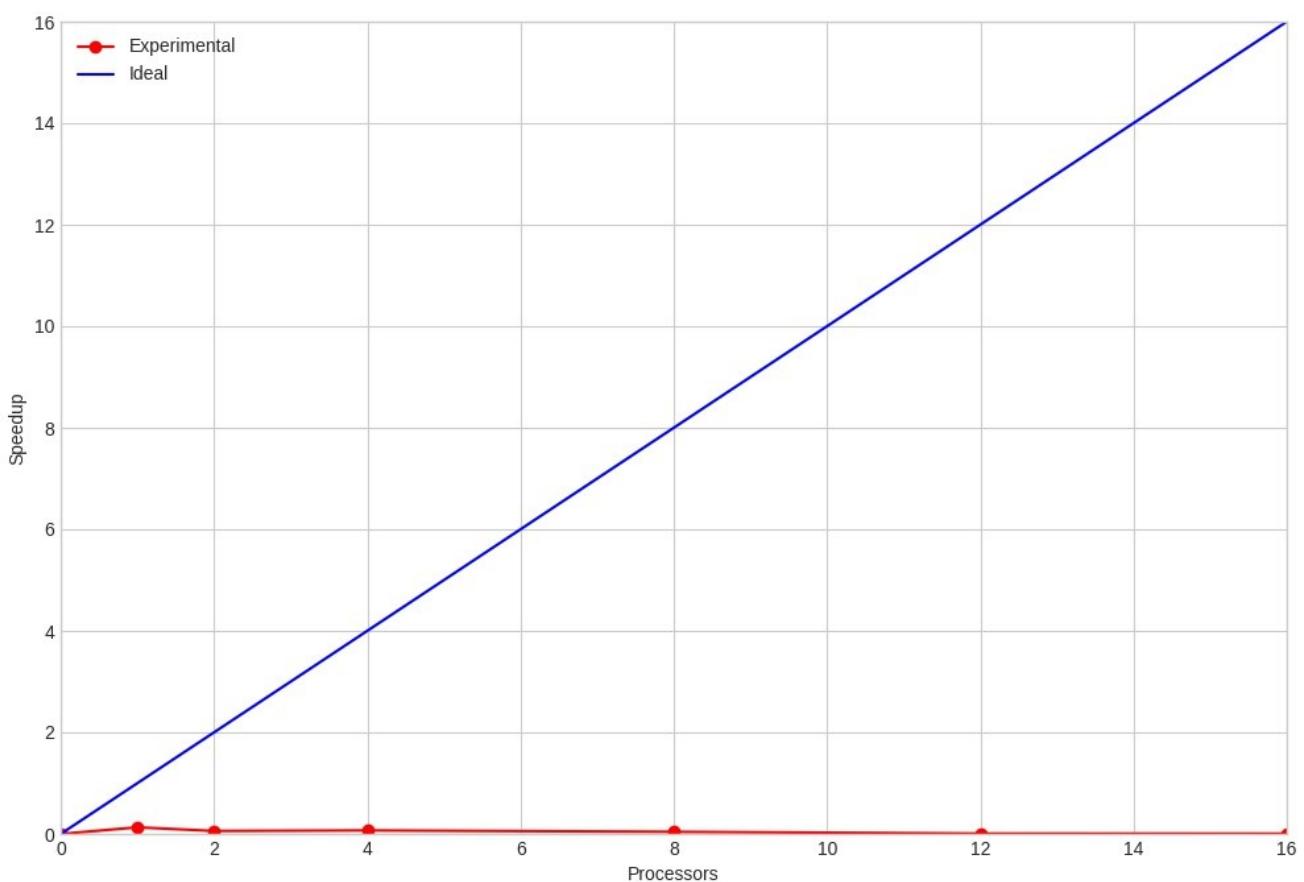
Size-1'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	2,00E-06	3,00E-06	2,00E-06	3,00E-06	1	1
Parallel	1	2,90E-05	2,40E-05	2,90E-05	2,90E-05	0,068965517	0,068965517
Parallel	2	2,80E-05	2,60E-05	2,70E-05	3,00E-05	0,071428571	0,035714286
Parallel	4	3,70E-05	4,00E-05	4,70E-05	4,80E-05	0,054054054	0,013513514
Parallel	8	0,000269	7,30E-05	7,10E-05	0,000286	0,007434944	0,000929368
Parallel	12	0,000371	0,000348	0,0003	0,000271	0,005390836	0,000449236
Parallel	16	0,00037	0,000396	0,000551	0,0003	0,005405405	0,000337838



Size-1'000-O2

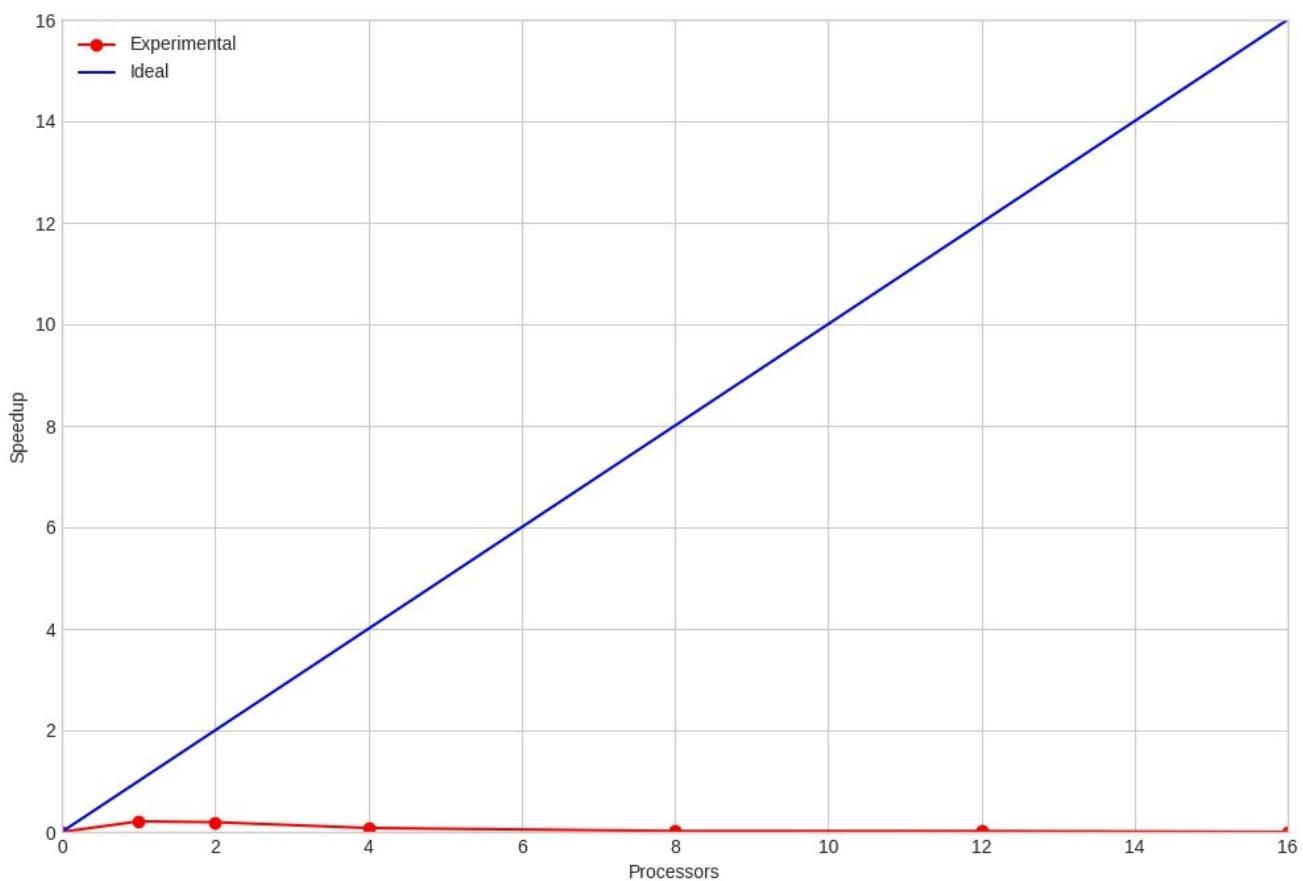
Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	3,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	3,00E-06	1	1
Parallel	1	2,30E-05	2,30E-05	2,40E-05	2,40E-05	0,130434783	0,130434783
Parallel	2	5,10E-05	4,90E-05	2,90E-05	2,90E-05	0,058823529	0,029411765
Parallel	4	4,30E-05	4,10E-05	3,60E-05	3,60E-05	0,069767442	0,01744186
Parallel	8	7,10E-05	7,70E-05	7,10E-05	8,50E-05	0,042253521	0,00528169
Parallel	12	0,00038	0,000287	0,000546	0,000338	0,007894737	0,000657895
Parallel	16	0,000456	0,000692	0,001968	0,0004	0,006578947	0,000411184



Size-1'000-O3

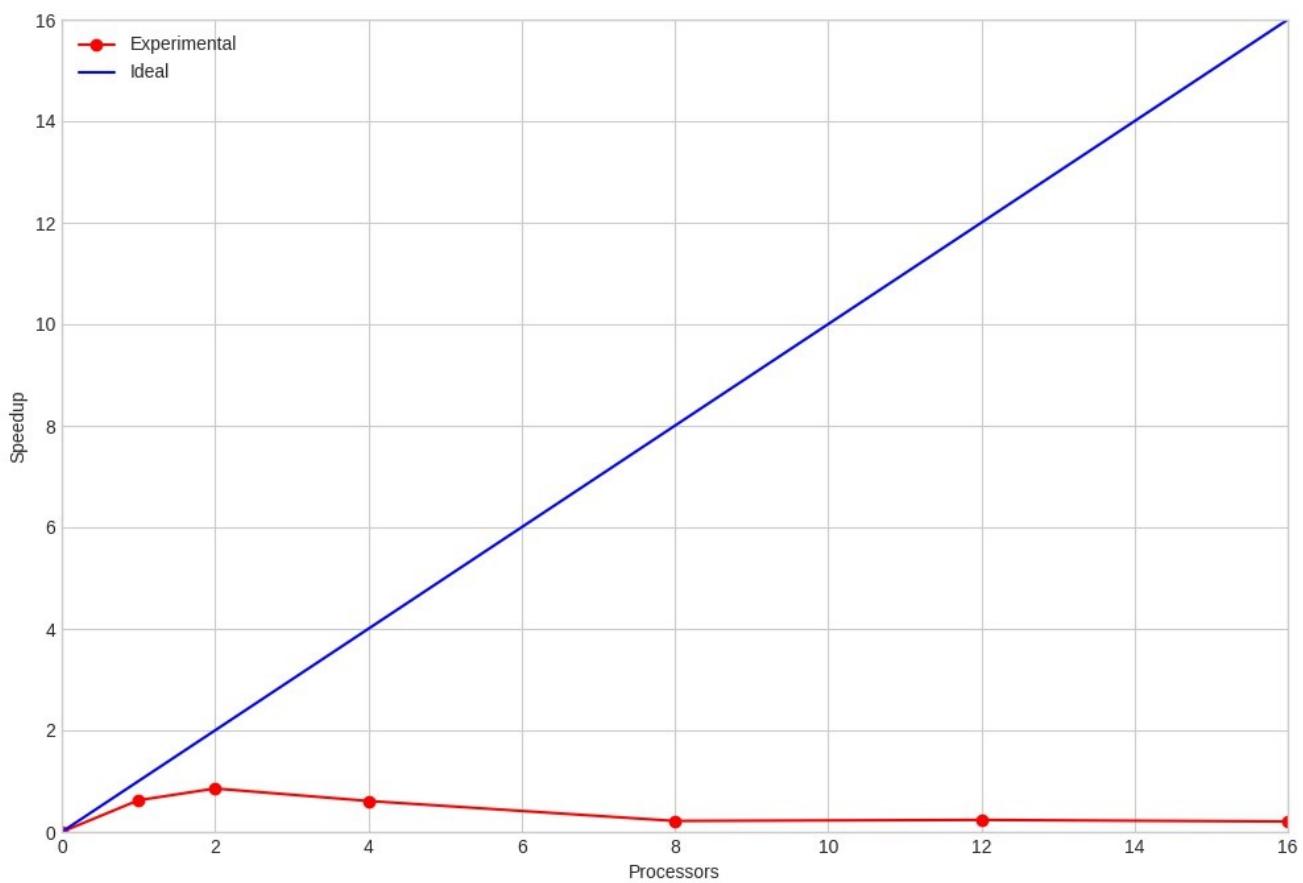
Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	5,00E-06	9,00E-06	3,00E-06	2,00E-06	1	1
Parallel	1	2,40E-05	2,80E-05	2,30E-05	2,50E-05	0,2083333333	0,2083333333

Parallel 2



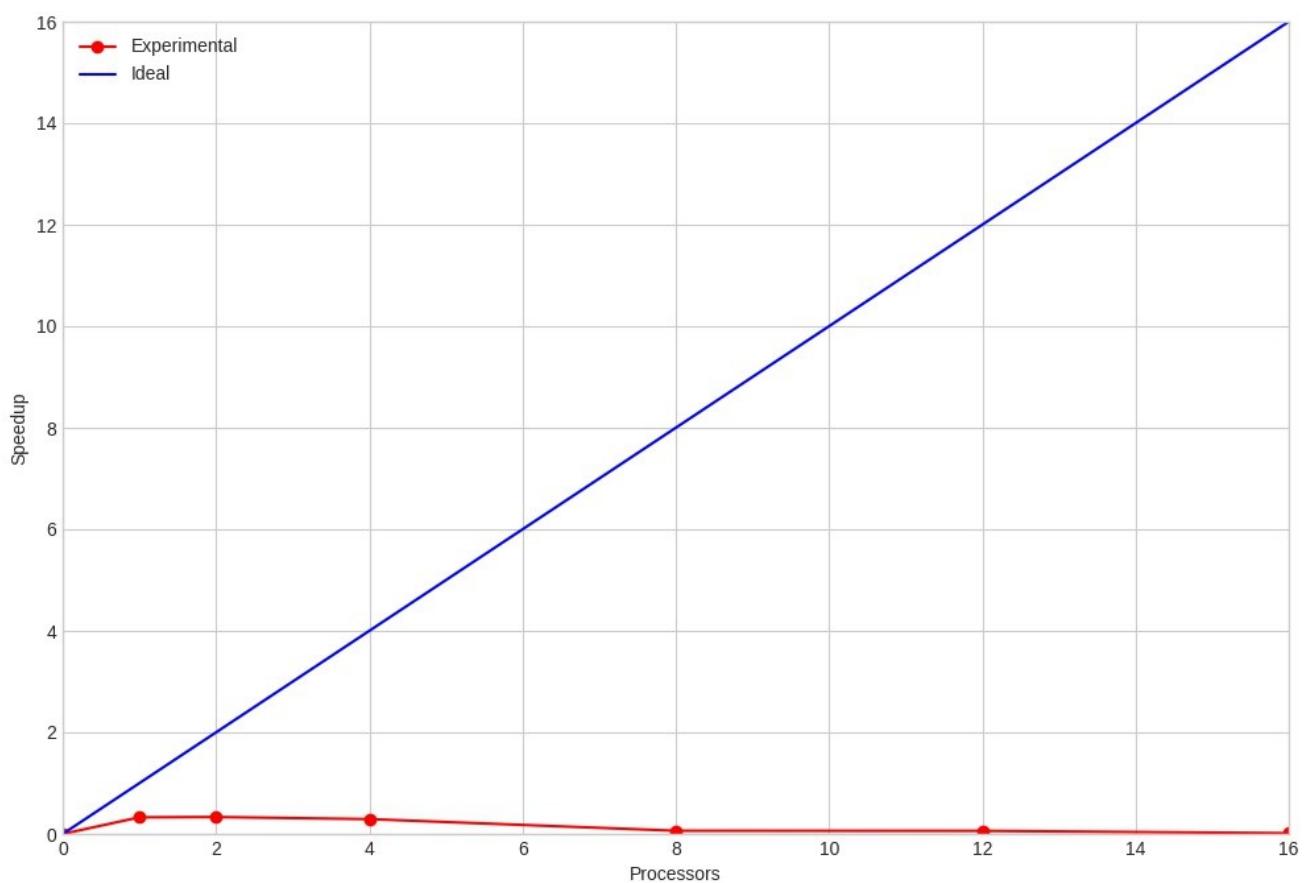
Size-10'000-O0

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	8,30E-05	8,20E-05	8,60E-05	7,90E-05	1	1
Parallel	1	0,000133	0,000139	0,000139	0,000136	0,62406015	0,62406015
Parallel	2	9,70E-05	8,80E-05	9,30E-05	9,70E-05	0,855670103	0,427835052
Parallel	4	0,000136	0,000114	0,000111	8,30E-05	0,610294118	0,152573529
Parallel	8	0,000382	0,000461	0,000396	0,000136	0,217277487	0,027159686
Parallel	12	0,00035	0,00036	0,000371	0,000333	0,237142857	0,019761905
Parallel	16	0,000403	0,003048	0,000351	0,000345	0,205955335	0,012872208



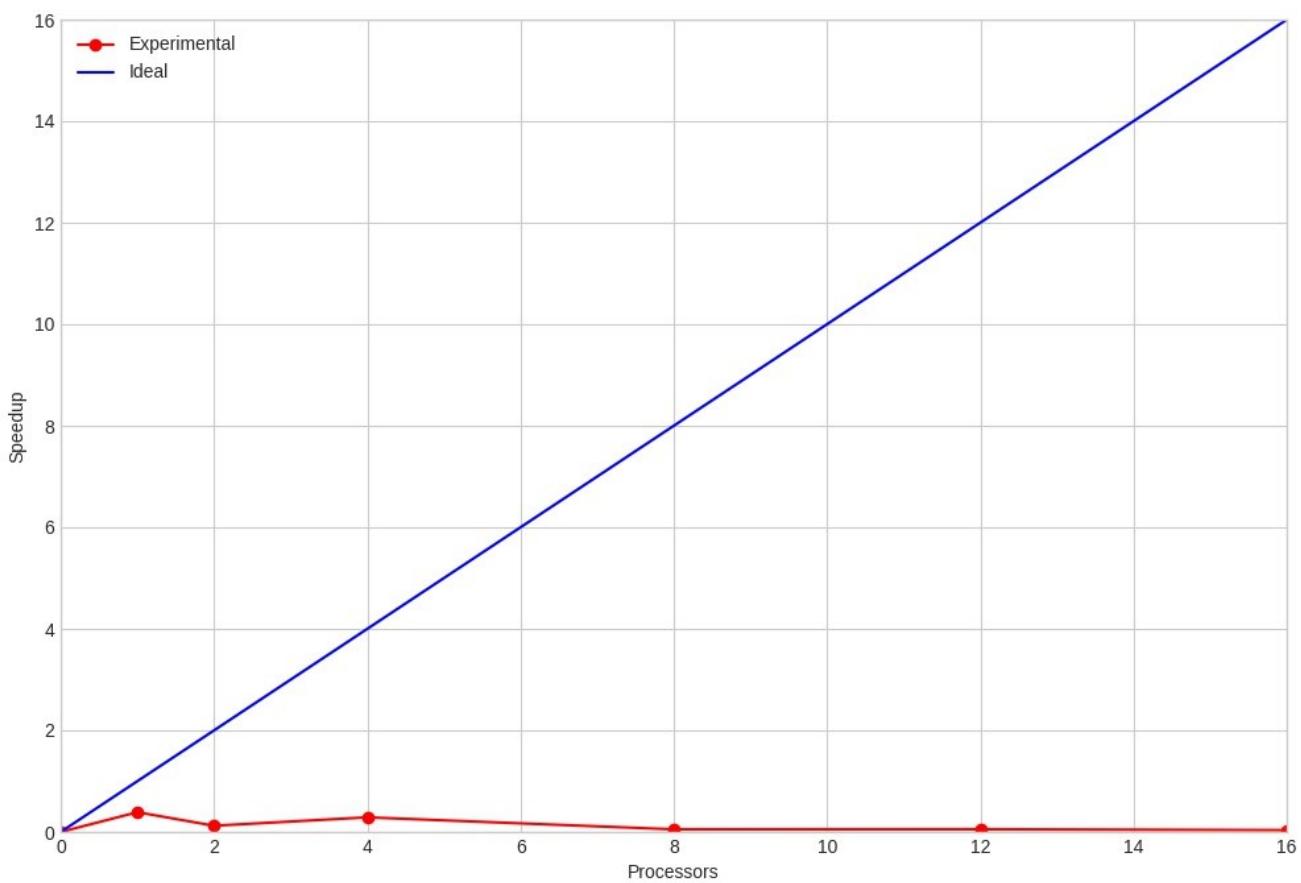
Size-10'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	1,90E-05	1,90E-05	2,00E-05	2,00E-05	1	1
Parallel	1	5,80E-05	9,50E-05	6,00E-05	6,20E-05	0,327586207	0,327586207
Parallel	2	5,70E-05	5,80E-05	5,80E-05	5,70E-05	0,333333333	0,166666667
Parallel	4	6,50E-05	7,50E-05	8,00E-05	6,70E-05	0,292307692	0,073076923
Parallel	8	0,0003	0,000124	0,000118	0,00015	0,063333333	0,007916667
Parallel	12	0,000311	0,000413	0,00031	0,0003	0,061093248	0,005091104
Parallel	16	0,00124	0,001487	0,000346	0,000414	0,015322581	0,000957661



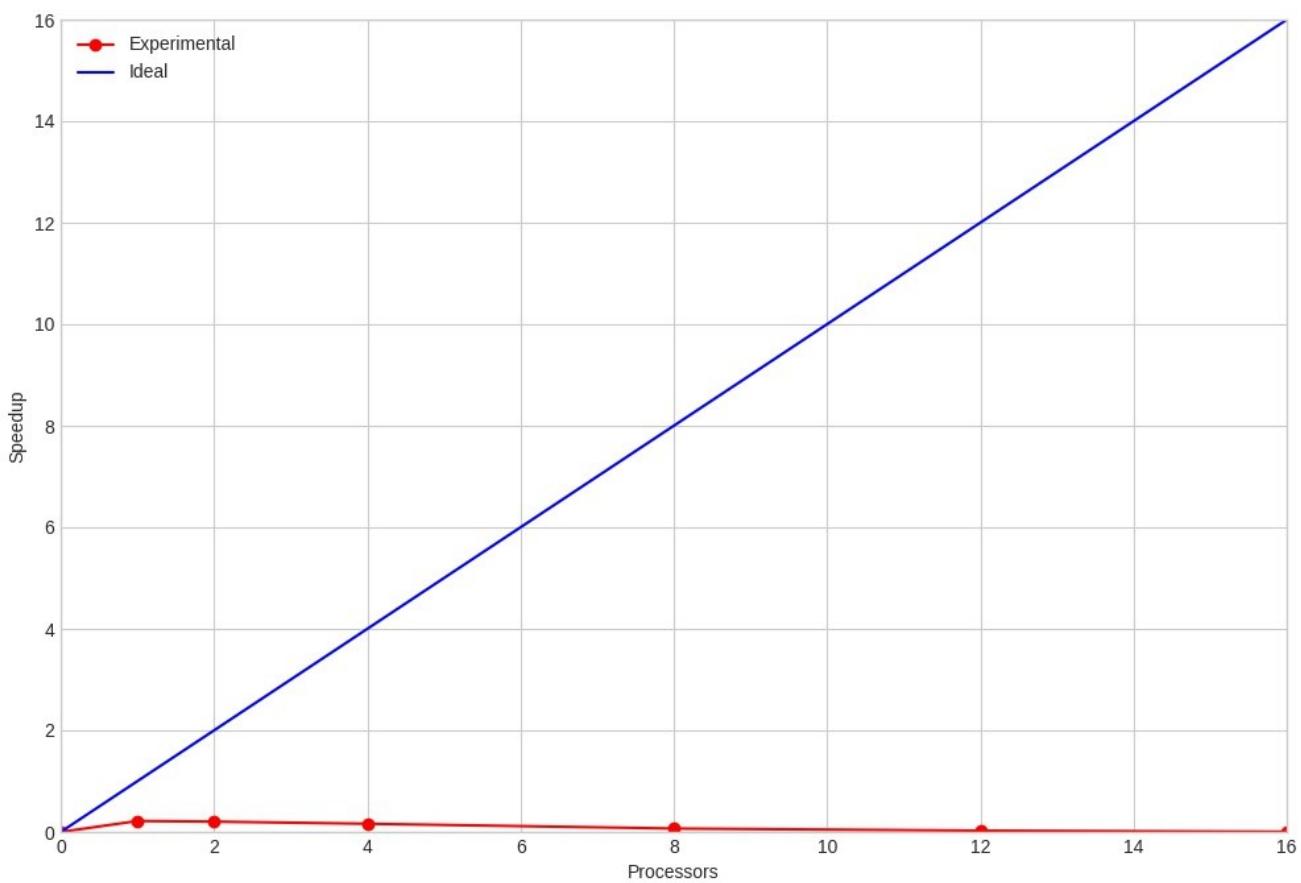
Size-10'000-O2

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	2,10E-05	1,90E-05	2,00E-05	2,00E-05	1	1
Parallel	1	5,40E-05	6,10E-05	5,40E-05	5,40E-05	0,388888889	0,388888889
Parallel	2	0,000171	5,40E-05	6,00E-05	5,20E-05	0,122807018	0,061403509
Parallel	4	7,30E-05	7,80E-05	8,10E-05	7,60E-05	0,287671233	0,071917808
Parallel	8	0,000406	0,000118	0,000307	0,00011	0,051724138	0,006465517
Parallel	12	0,000394	0,000371	0,000623	0,000361	0,053299492	0,004441624
Parallel	16	0,000583	0,000334	0,000337	0,000415	0,036020583	0,002251286



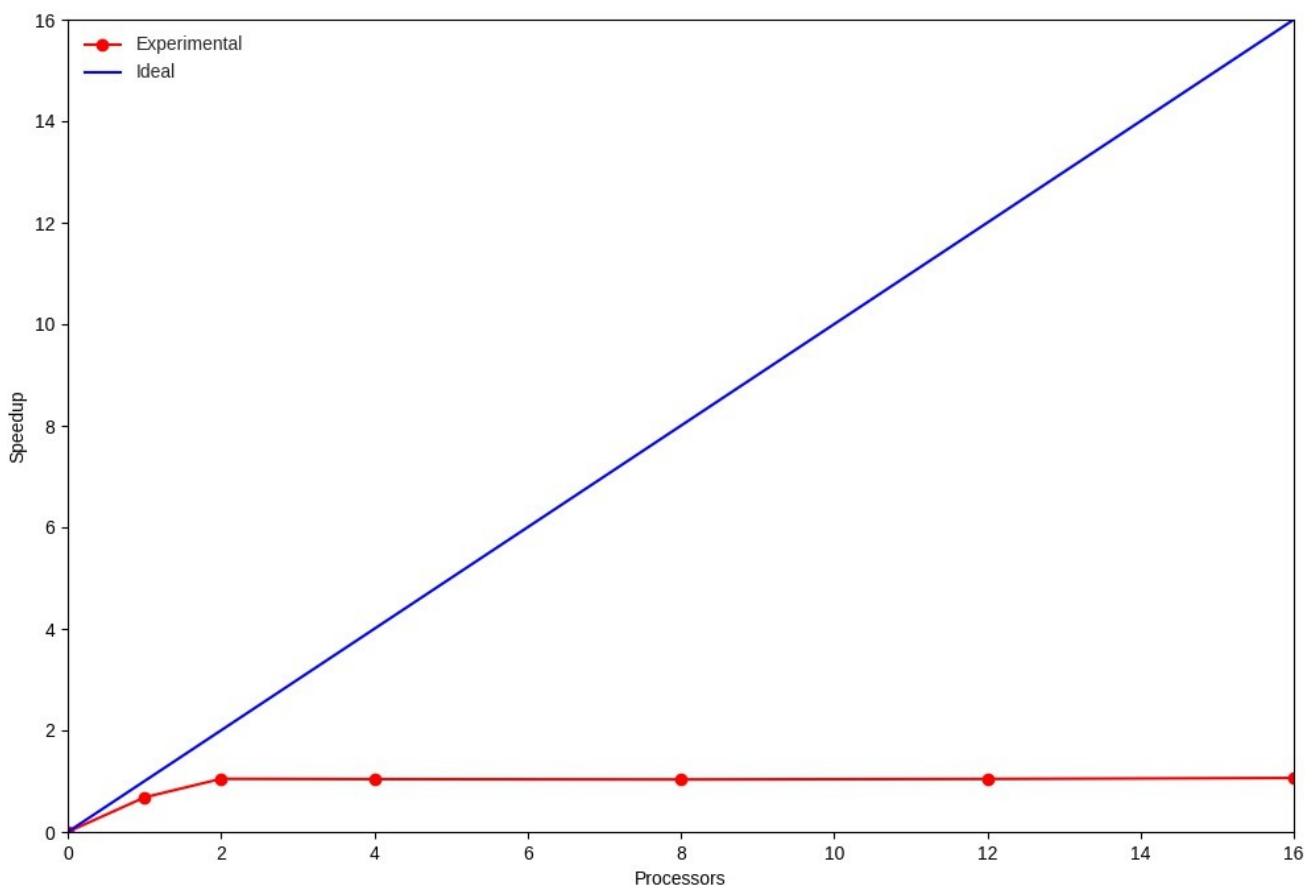
Size-10'000-O3

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	1,10E-05	1,00E-05	1,10E-05	1,10E-05	1	1
Parallel	1	5,10E-05	7,90E-05	5,90E-05	5,70E-05	0,215686275	0,215686275
Parallel	2	5,40E-05	5,00E-05	5,20E-05	5,20E-05	0,203703704	0,101851852
Parallel	4	6,80E-05	8,60E-05	7,20E-05	7,40E-05	0,161764706	0,040441176
Parallel	8	0,000162	0,000303	0,0003	0,0001	0,067901235	0,008487654
Parallel	12	0,000434	0,000382	0,0004	0,0003	0,025345622	0,002112135
Parallel	16	0,002122	0,006022	0,0006	0,0003	0,005183789	0,000323987



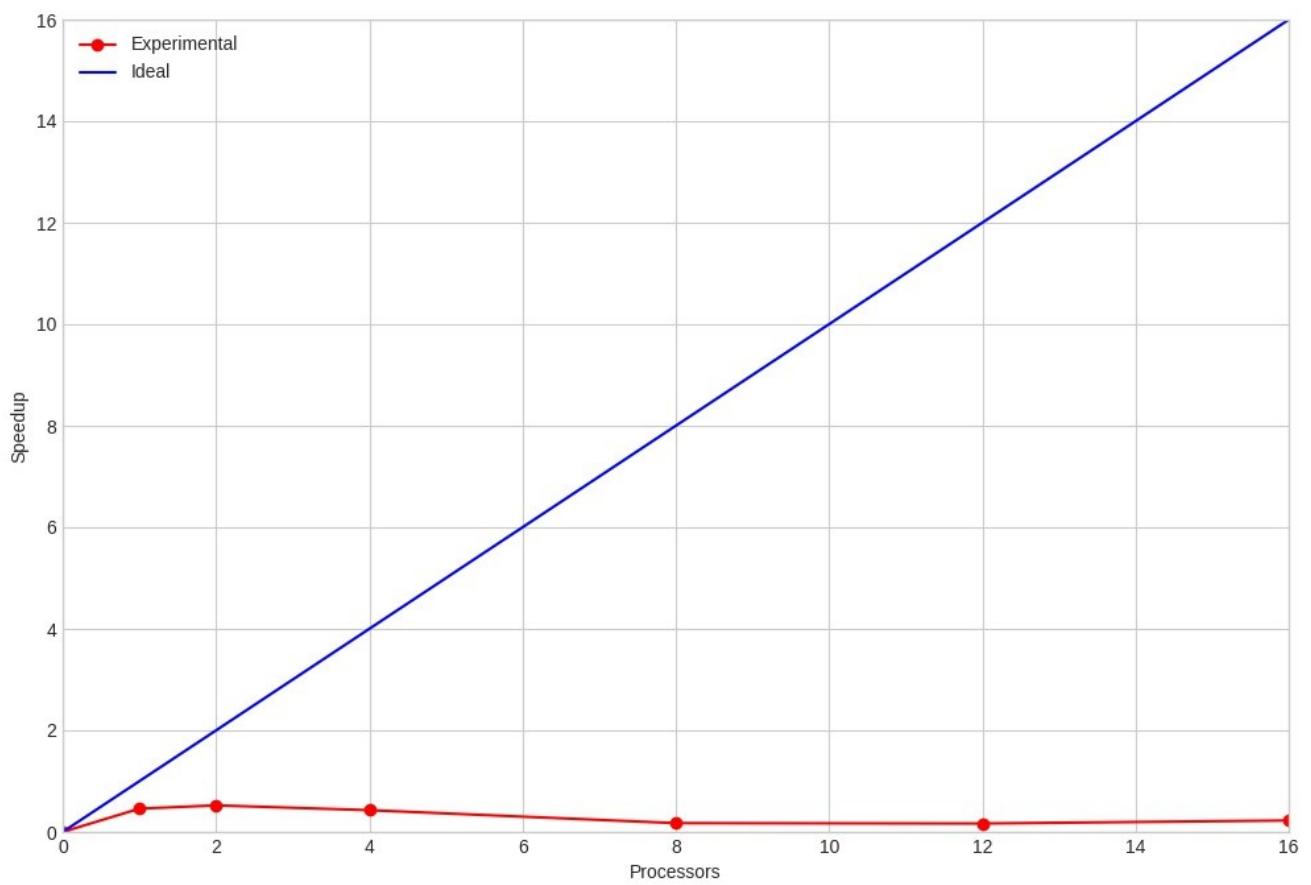
Size-100'000-00

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000907	0,00091 6	0,0008 69	0,0010 51	1	1
Parallel	1	0,001334	0,00141 5	0,0013 14	0,0013 02	0,67991 0045	0,67991 0045
Parallel	2	0,000867	0,00079	0,0007 62	0,0008 49	1,04613 6101	0,52306 8051
Parallel	4	0,000872	0,00069 1	0,0006 25	0,0006 67	1,04013 7615	0,26003 4404
Parallel	8	0,000877	0,00078 1	0,0008 63	0,0008 07	1,03420 7526	0,12927 5941
Parallel	12	0,000869	0,00099 4	0,0008 45	0,0008 16	1,04372 8423	0,08697 7369
Parallel	16	0,000853	0,00090 7	0,0023 39	0,0010 63	1,06330 5979	0,06645 6624



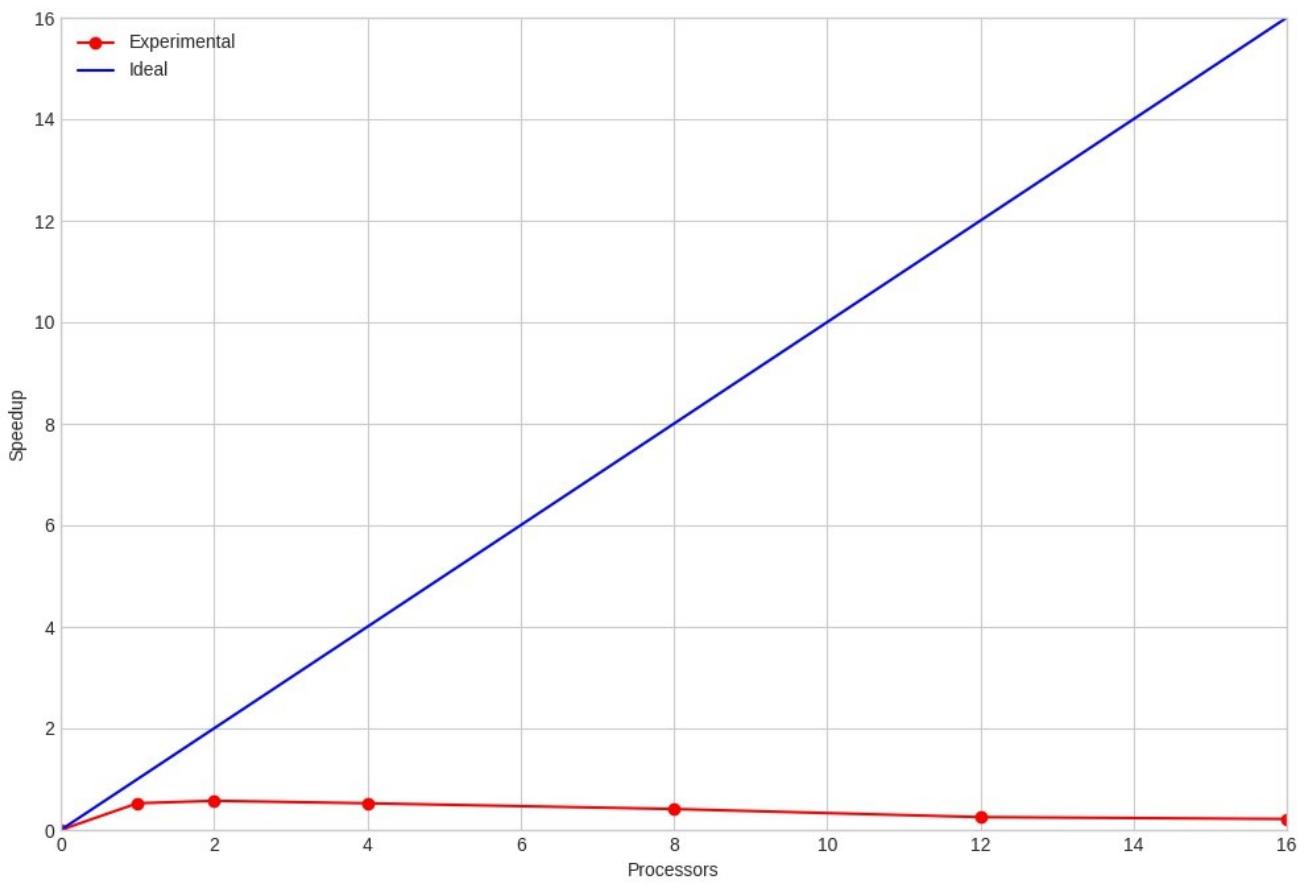
Size-100'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000178	0,000172	0,000172	0,000171	1	1
Parallel	1	0,000388	0,00042	0,000426	0,000405	0,458762887	0,458762887
Parallel	2	0,00034	0,000356	0,000378	0,000353	0,523529412	0,261764706
Parallel	4	0,000415	0,000516	0,000391	0,000435	0,428915663	0,107228916
Parallel	8	0,001023	0,000464	0,000536	0,000899	0,173998045	0,021749756
Parallel	12	0,001069	0,000897	0,000867	0,000833	0,166510758	0,013875896
Parallel	16	0,000788	0,003678	0,004161	0,000796	0,225888325	0,01411802



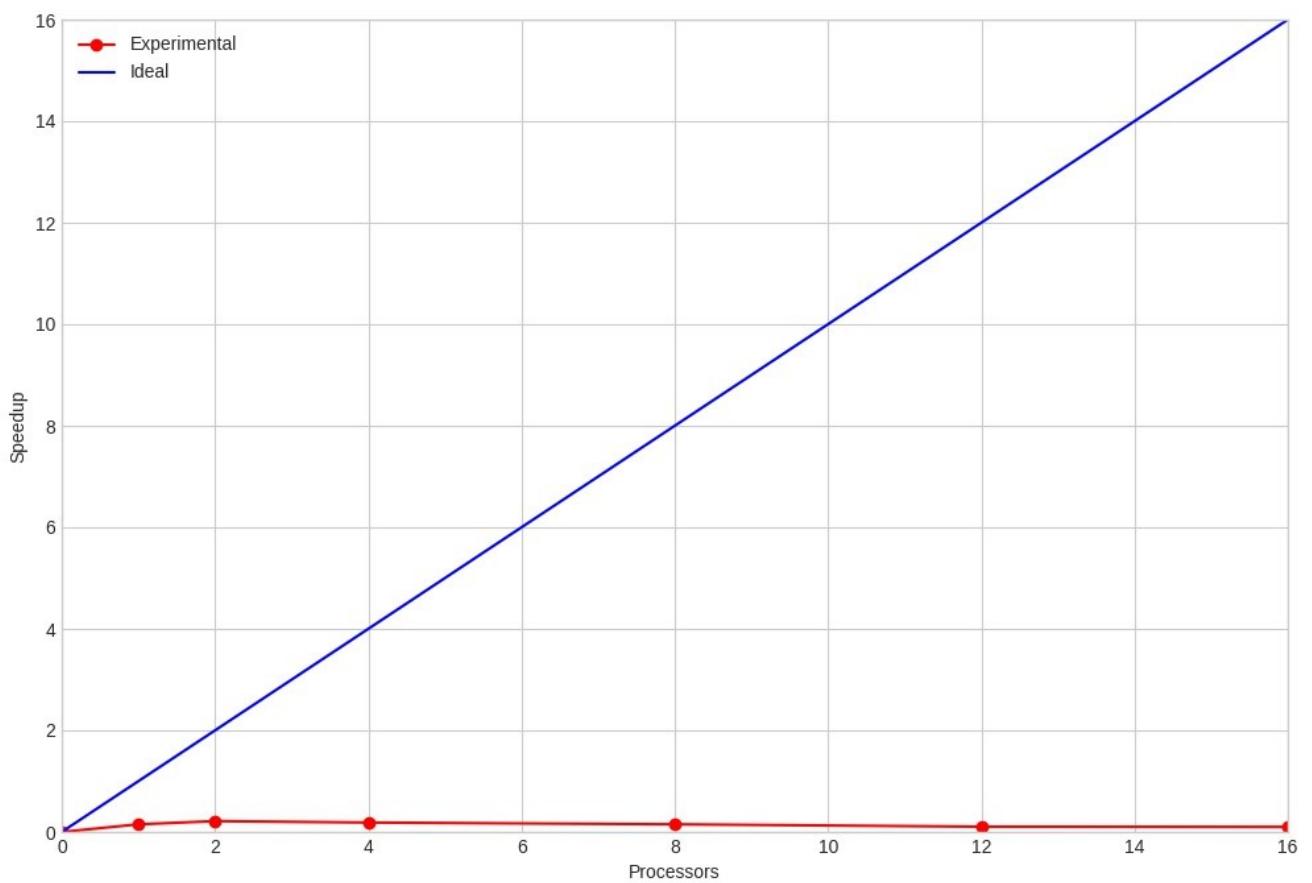
Size-100'000-O2

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000196	0,000148	0,000149	0,000148	1	1
Parallel	1	0,000373	0,000351	0,00046	0,000351	0,525469169	0,525469169
Parallel	2	0,000341	0,000302	0,000302	0,000303	0,574780059	0,287390029
Parallel	4	0,000373	0,000406	0,000424	0,000431	0,525469169	0,131367292
Parallel	8	0,000475	0,000554	0,000555	0,000432	0,412631579	0,051578947
Parallel	12	0,000775	0,001186	0,000726	0,000769	0,252903226	0,021075269
Parallel	16	0,000905	0,001027	0,001794	0,001042	0,216574586	0,013535912



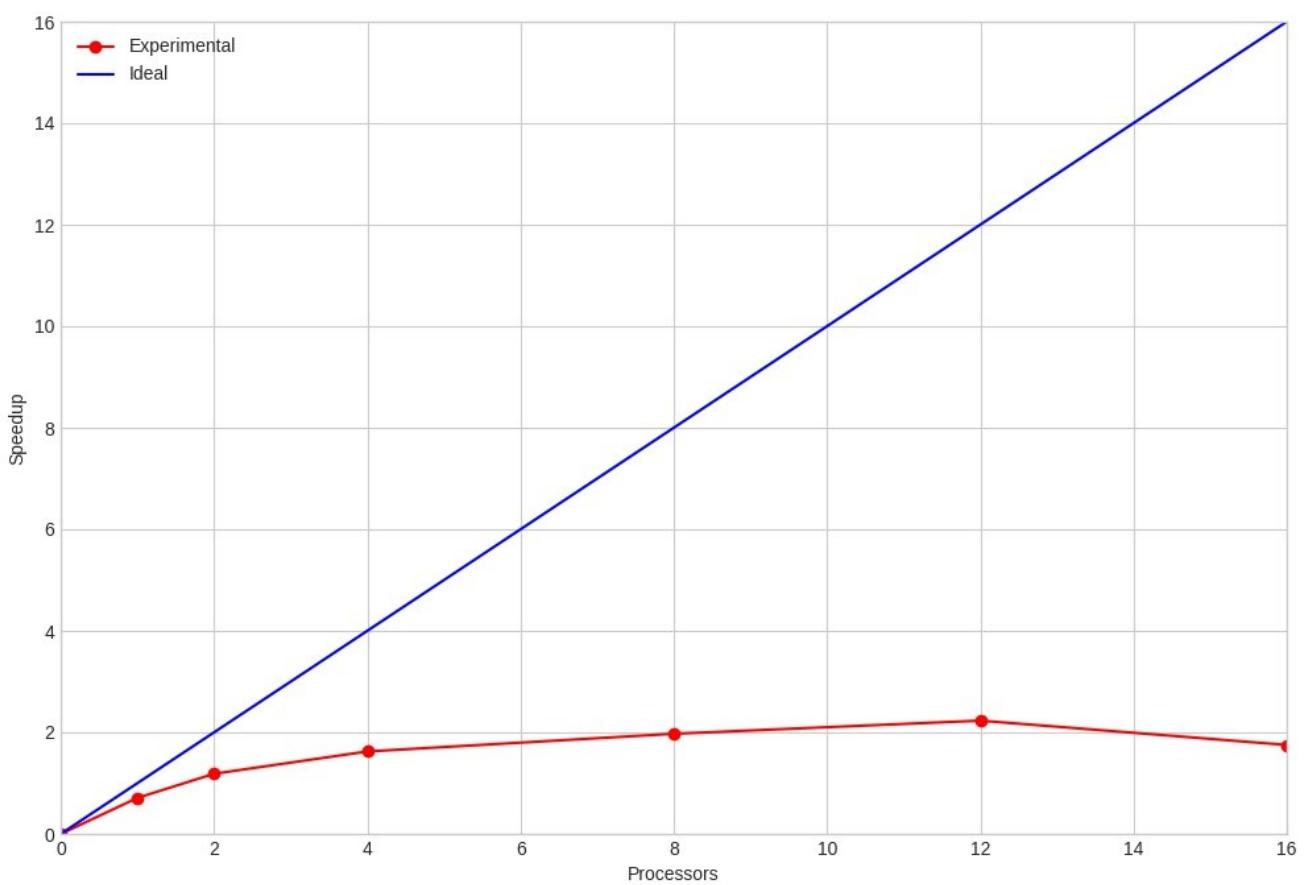
Size-100'000-O3

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	8,00E-05	7,90E-05	7,90E-05	7,80E-05	1	1
Parallel	1	0,000532	0,000349	0,000352	0,000361	0,15037594	0,15037594
Parallel	2	0,000375	0,000303	0,000298	0,000297	0,21333333	0,106666667
Parallel	4	0,000431	0,000625	0,000355	0,000391	0,185614849	0,046403712
Parallel	8	0,000529	0,000493	0,000575	0,000517	0,151228733	0,018903592
Parallel	12	0,000772	0,000867	0,000788	0,000751	0,103626943	0,008635579
Parallel	16	0,000804	0,000963	0,003276	0,002376	0,099502488	0,006218905



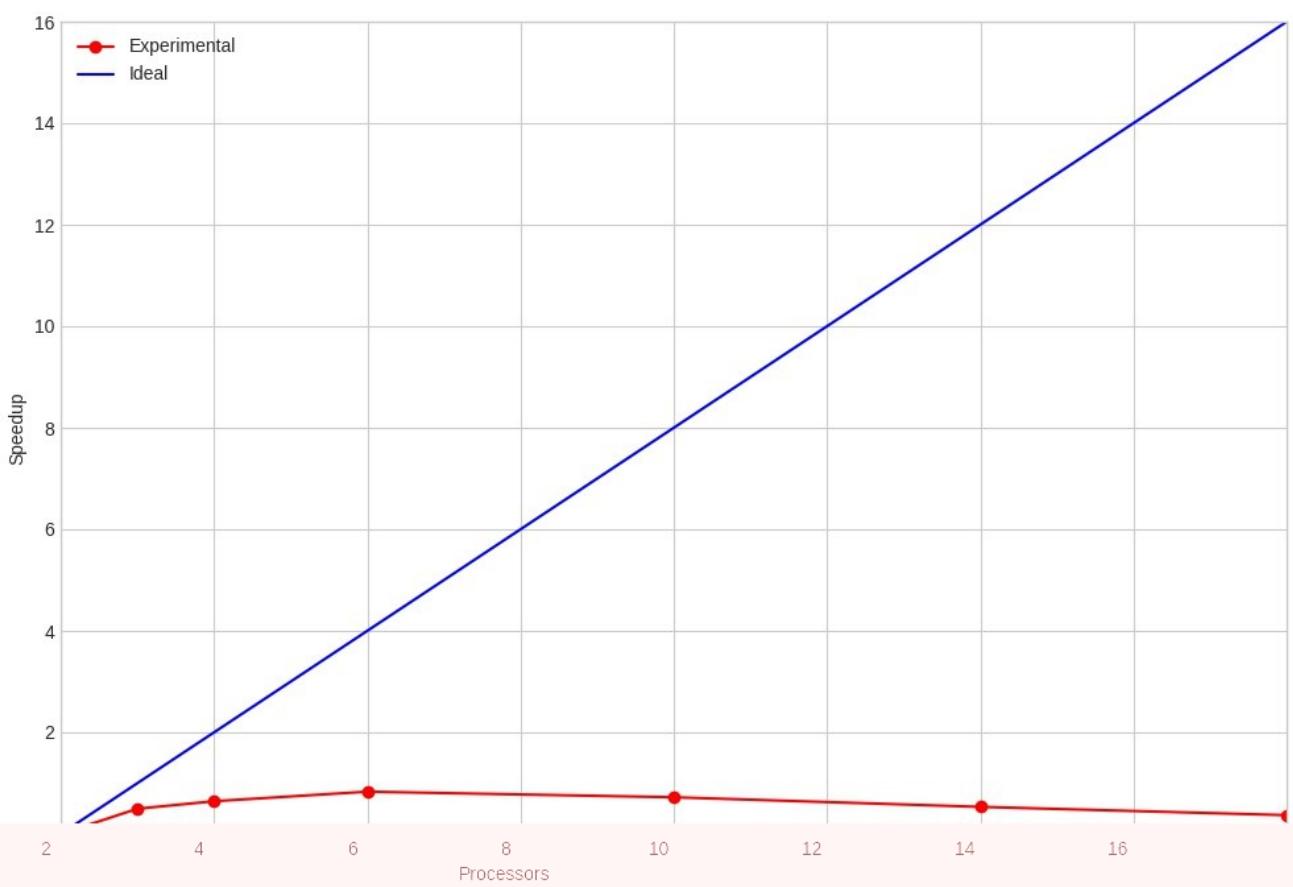
Size-1'000'000-00

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,009013	0,00906 8	0,0093 78	0,0098 38	1	1
Parallel	1	0,012707	0,01266 3	0,0126 81	0,0127 31	0,70929 4	0,70929 4
Parallel	2	0,007607	0,00753 9	0,0074 39	0,0074 77	1,18483	0,59241 5
Parallel	4	0,005549	0,00455 7	0,0053 47	0,0048 87	1,62425 7	0,40606 4
Parallel	8	0,004569	0,00423 2	0,0041 88	0,0041 79	1,97264 2	0,24658
Parallel	12	0,004038	0,00400 9	0,0040 07	0,0042 55	2,23204 6	0,18600 4
Parallel	16	0,005142	0,00759 6	0,0055 45	0,0051 94	1,75282	0,10955 1



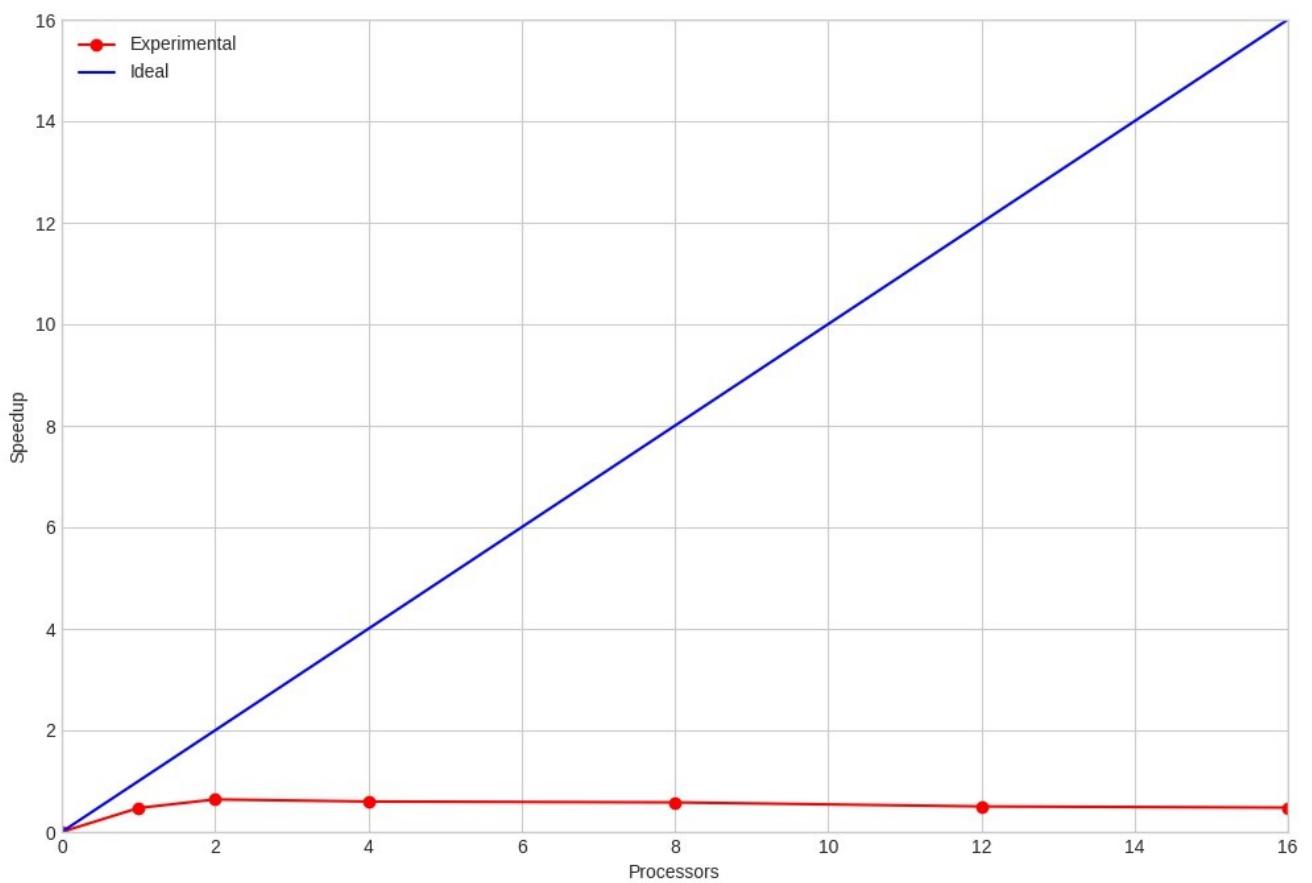
Size-1'000'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,001851	0,00172	0,0017 58	0,0021 24	1	1
Parallel	1	0,003726	0,00329 9	0,0035 79	0,0034 82	0,49677 9	0,49677 9
Parallel	2	0,002872	0,00258 6	0,0028 49	0,0025 76	0,64449 9	0,32224 9
Parallel	4	0,002222	0,00224 7	0,0024 7	0,0026 14	0,83303 3	0,20825 8
Parallel	8	0,002562	0,0031	0,0027 09	0,0027 71	0,72248 2	0,09031
Parallel	12	0,003469	0,00310 2	0,0030 04	0,0030 68	0,53358 3	0,04446 5
Parallel	16	0,005	0,00438 4	0,0035 63	0,0034 48	0,3702	0,02313 8



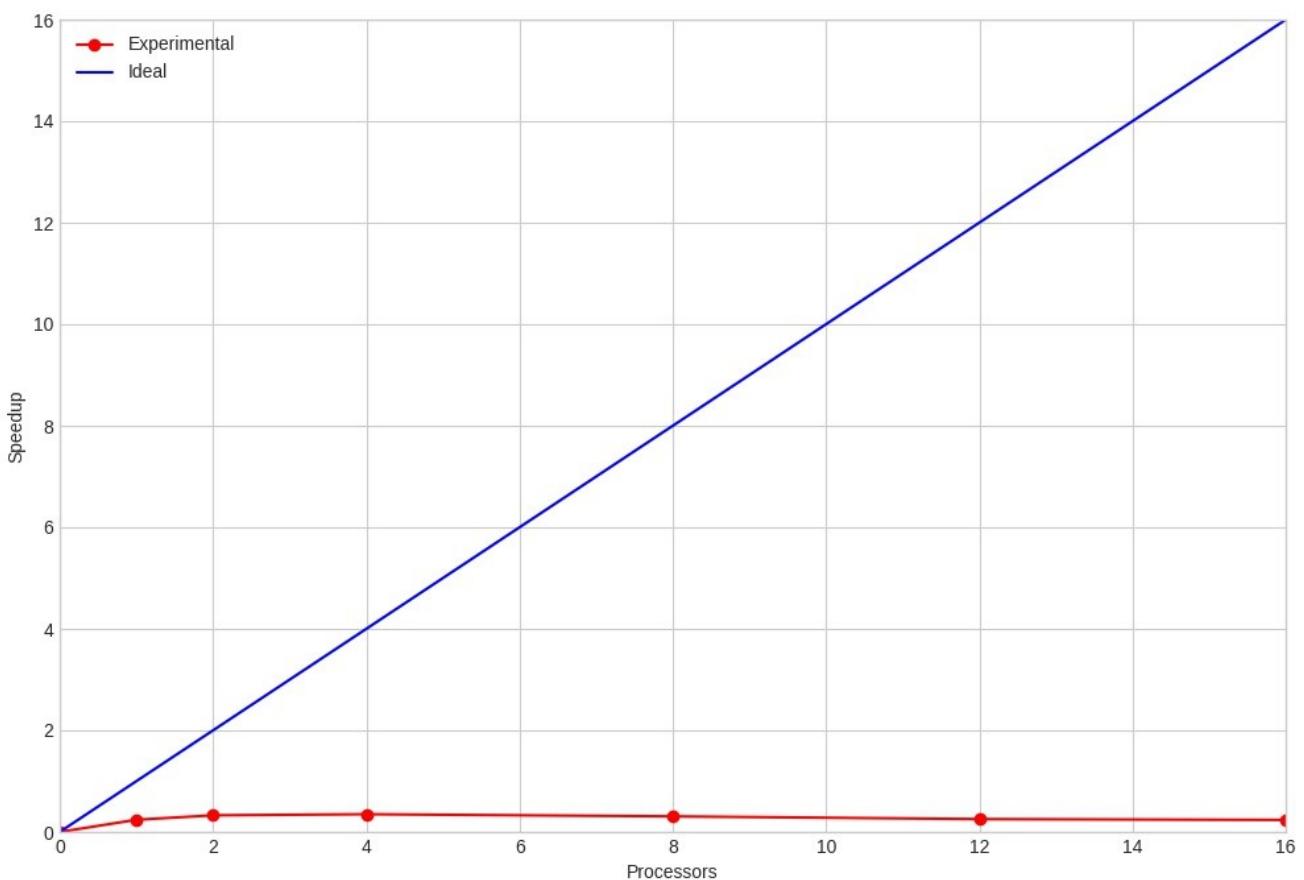
Size-1'000'000-O2

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,001536	0,00147 9	0,0015 04	0,0015 09	1	1
Parallel	1	0,003258	0,00326 4	0,0028 52	0,0029 7	0,47145 5	0,47145 5
Parallel	2	0,002398	0,00239 4	0,0023 5	0,0025 00	0,64053 4	0,32026 7
Parallel	4	0,002564	0,00216 6	0,0020 65	0,0020 83	0,59906 4	0,14976 6
Parallel	8	0,002637	0,00263 2	0,0024 71	0,0025 38	0,58248	0,07281
Parallel	12	0,003055	0,00385 3	0,0029 98	0,0029 02	0,50278 2	0,04189 9
Parallel	16	0,003203	0,00347	0,0048 45	0,0034 35	0,47955	0,02997 2



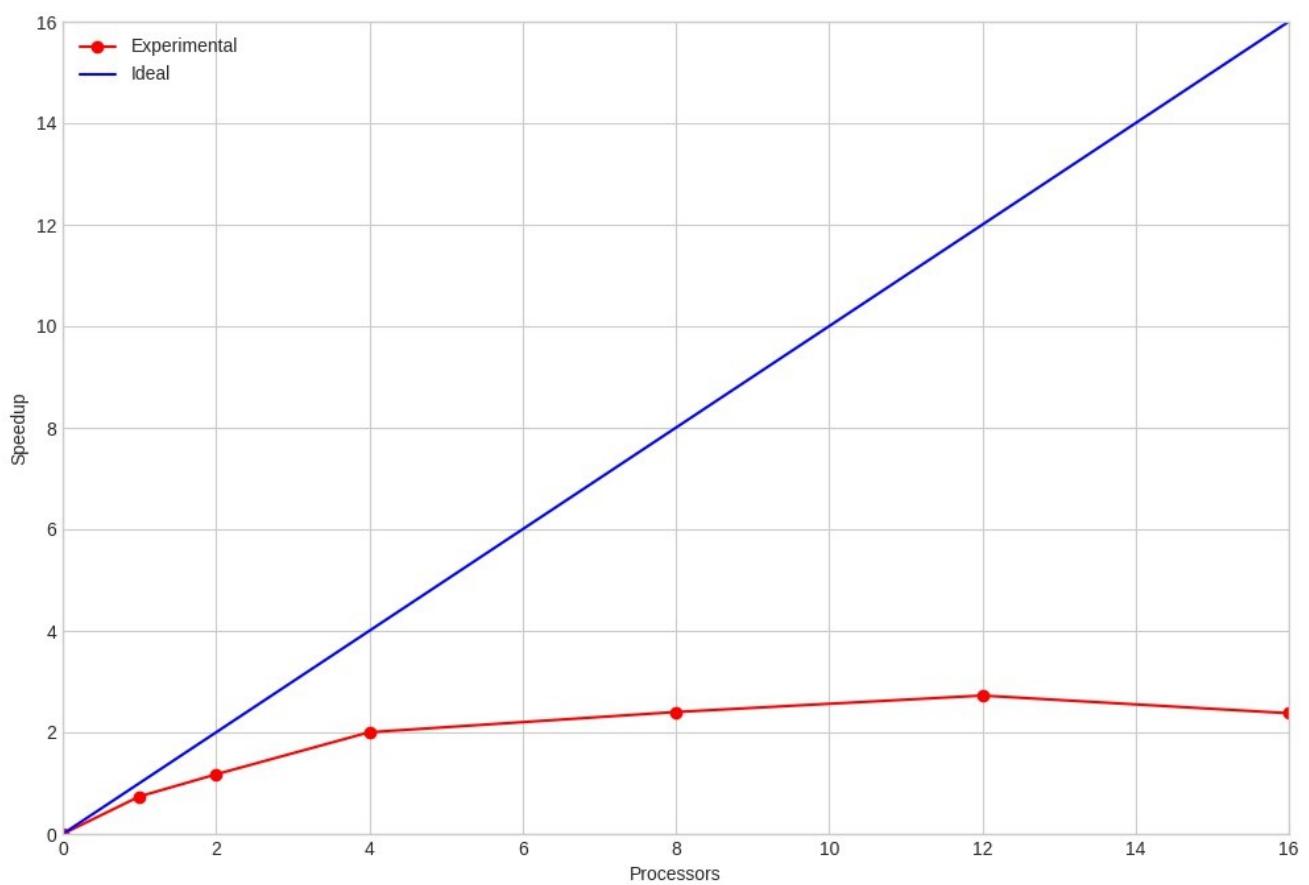
Size-1'000'000-O3

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000795	0,00083	0,0008 46	0,0008 51	1	1
Parallel	1	0,003312	0,00331 8	0,0036 43	0,0034 23	0,24003 6	0,24003 6
Parallel	2	0,002428	0,00229	0,0023 73	0,0023 7	0,32743	0,16371 5
Parallel	4	0,002275	0,00230 9	0,0020 48	0,0027 36	0,34945 1	0,08736 3
Parallel	8	0,002588	0,00335 1	0,0027 05	0,0028 42	0,30718 7	0,03839 8
Parallel	12	0,003139	0,00433 9	0,0030 57	0,0030 24	0,25326 5	0,02110 5
Parallel	16	0,003353	0,00478 5	0,0032 03	0,0037 68	0,23710 1	0,01481 9



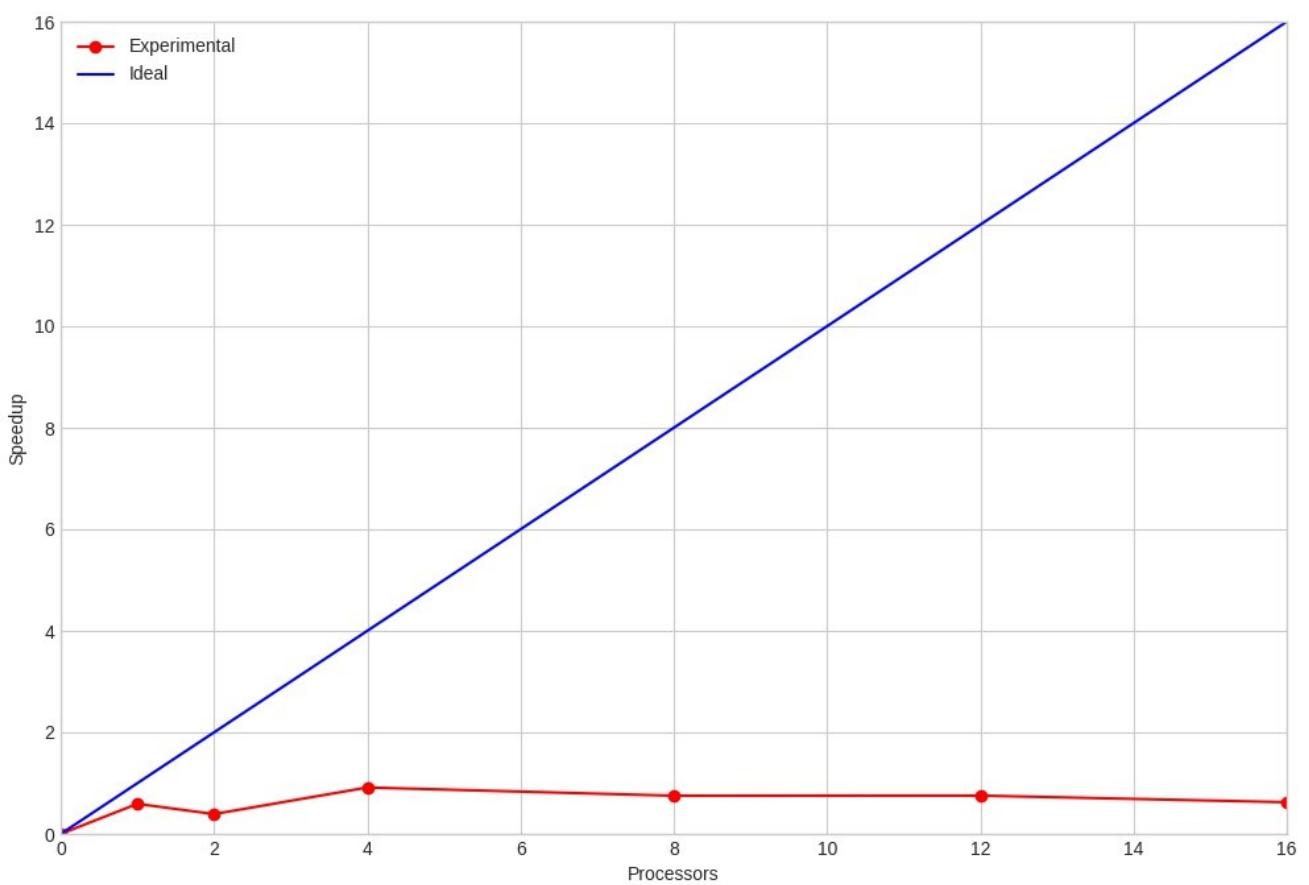
Size-10'000'000-O0

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,091104	0,09142	0,0905 99	0,0908 82	1	1
Parallel	1	0,123427	0,12216 1	0,1208 12	0,1193 16	0,73812 1	0,73812 1
Parallel	2	0,0776	0,07546 1	0,0770 72	0,0698 22	1,17402 1	0,58701
Parallel	4	0,045479	0,05100 6	0,0488 45	0,0426 85	2,00321	0,50080 3
Parallel	8	0,037937	0,03704 1	0,0397 53	0,0366 34	2,40145 5	0,30018 2
Parallel	12	0,03342	0,03445 2	0,0335 4	0,0346 59	2,72603 2	0,22716 9
Parallel	16	0,038314	0,03513 9	0,0347 46	0,0405 92	2,37782 5	0,14861 4



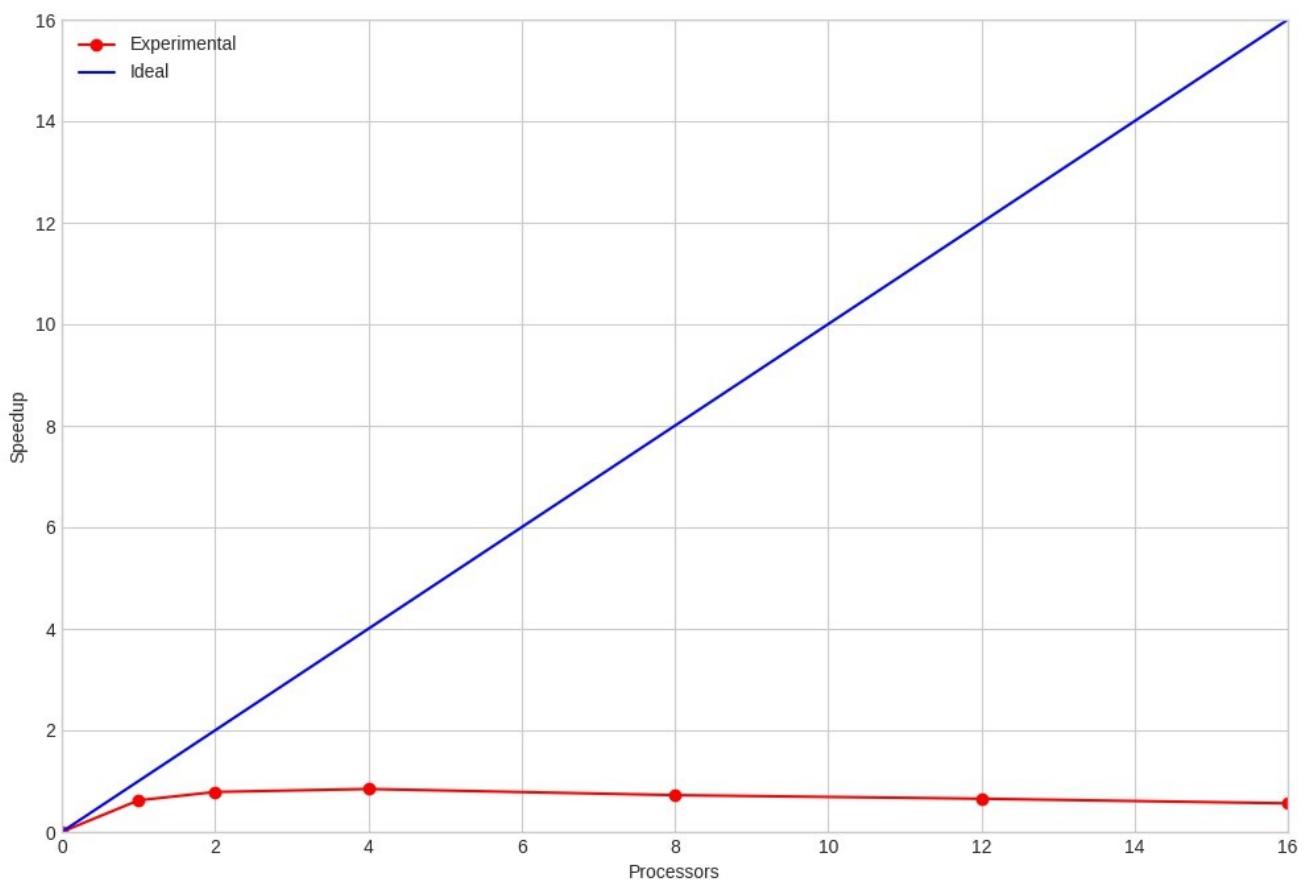
Size-10'000'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,018674	0,02047 2	0,0189 36	0,0189 92	1	1
Parallel	1	0,031472	0,03349 3	0,0325 68	0,0318 06	0,59335 3	0,59335 3
Parallel	2	0,047733	0,02442 8	0,0230 16	0,0256 08	0,39121 8	0,19560 9
Parallel	4	0,020406	0,02096 4	0,0199 48	0,0217 15	0,91512 3	0,22878 1
Parallel	8	0,024798	0,02498 2	0,0258 06	0,0269 48	0,75304 5	0,09413 1
Parallel	12	0,024738	0,02535 5	0,0248 78	0,0257 02	0,75487 1	0,06290 6
Parallel	16	0,029868	0,04568 3	0,0279 75	0,0286 06	0,62521 8	0,03907 6



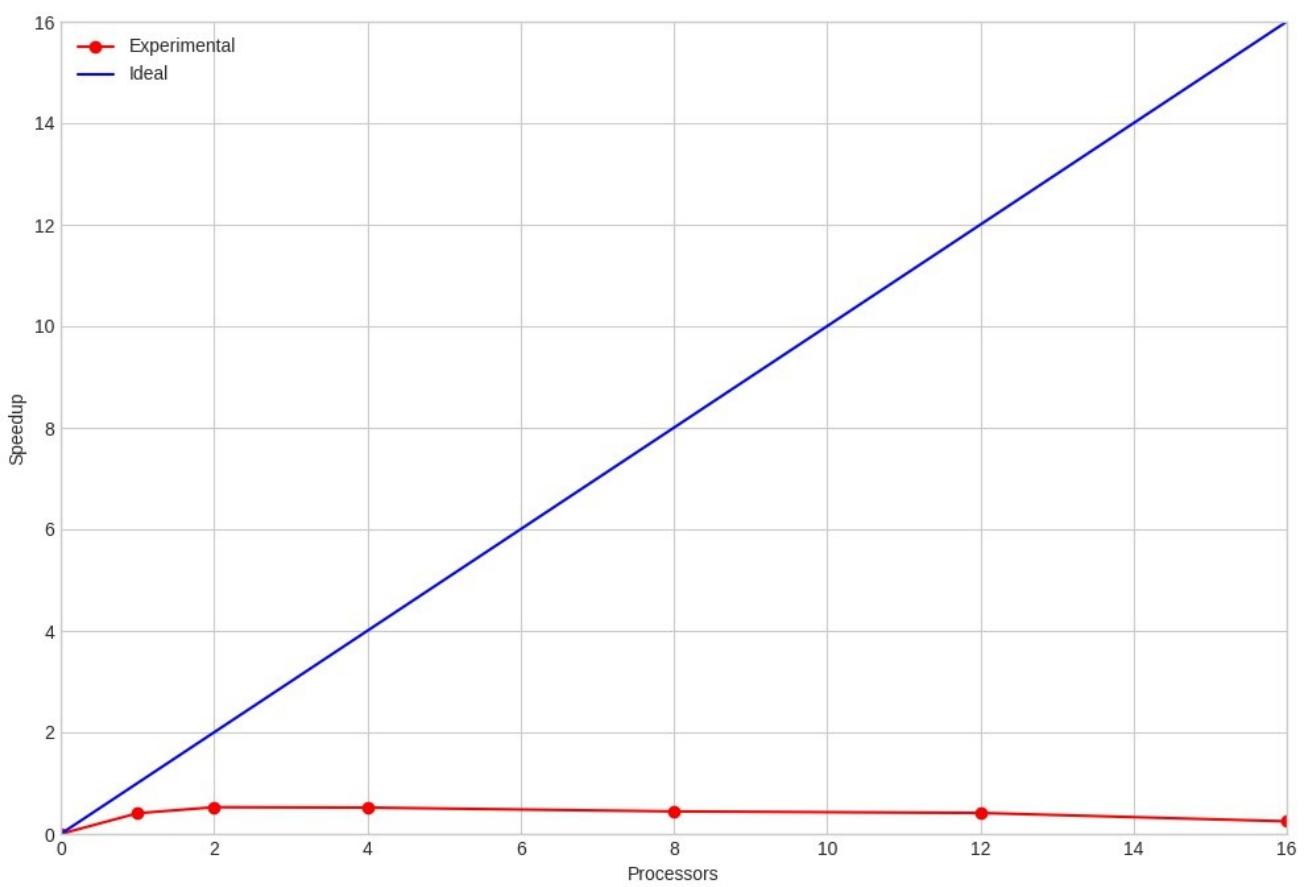
Size-10'000'000-O2

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,016542	0,01704 7	0,0169 83	0,0169 81	1	1
Parallel	1	0,02659	0,02698 7	0,0269 97	0,0267 13	0,62211 4	0,62211 4
Parallel	2	0,021013	0,02107 1	0,0213 38	0,0262 19	0,78722 7	0,39361 3
Parallel	4	0,019549	0,02048 5	0,0230 94	0,0217 31	0,84618 1	0,21154 5
Parallel	8	0,022815	0,02695 3	0,0265 76	0,0246 31	0,72504 9	0,09063 1
Parallel	12	0,025278	0,02606	0,0253 14	0,0261 56	0,65440 3	0,05453 4
Parallel	16	0,029328	0,03403	0,0311 12	0,0437 33	0,56403 4	0,03525 2



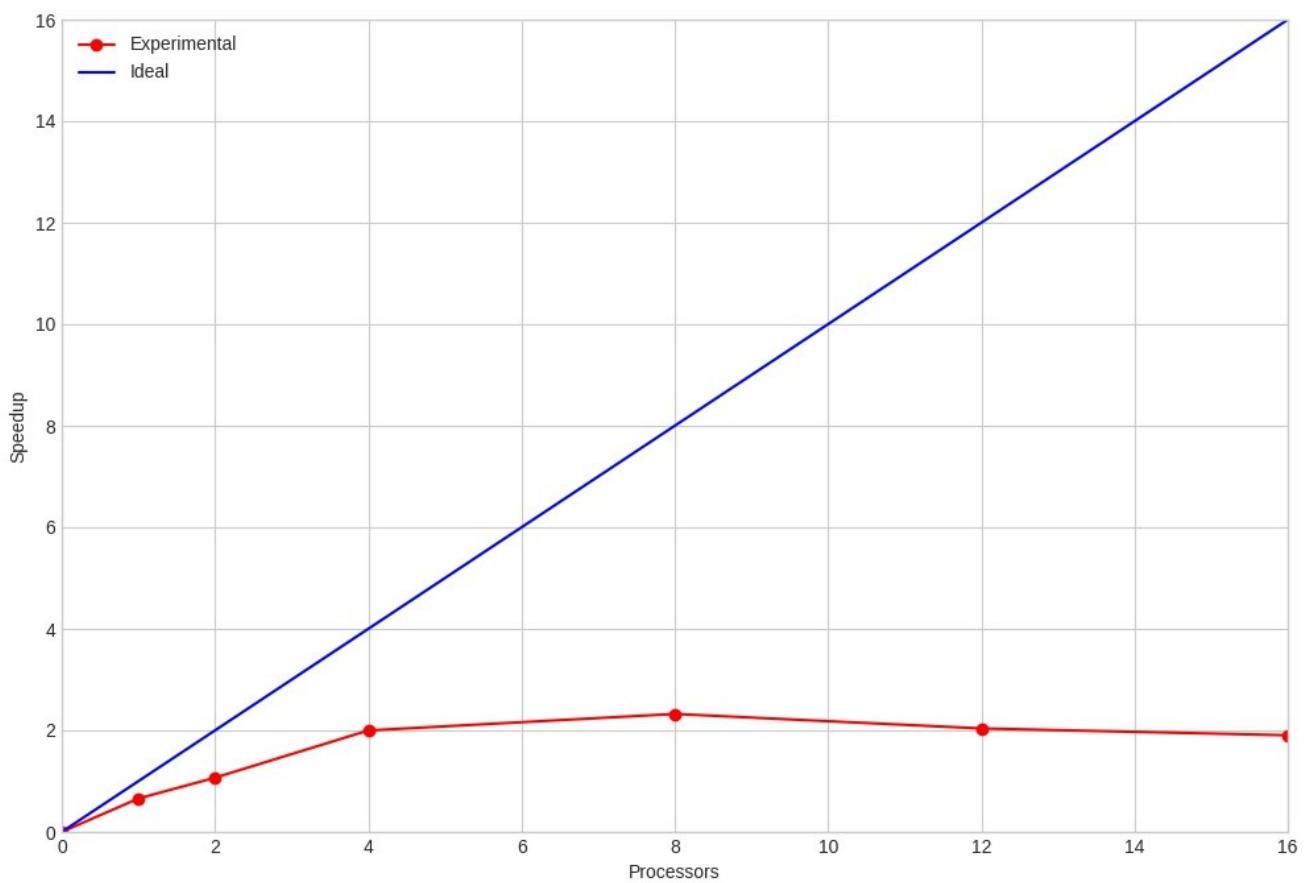
Size-10'000'000-O3

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,011229	0,01140 1	0,0120 55	0,0116 28	1	1
Parallel	1	0,027553	0,02739 2	0,0275 13	0,0273 88	0,40754 2	0,40754 2
Parallel	2	0,021316	0,02184 5	0,0216 97	0,0214 94	0,52678 7	0,26339 4
Parallel	4	0,021615	0,02257 4	0,0200 95	0,0201 38	0,5195	0,12987 5
Parallel	8	0,025291	0,02342 2	0,0256 21	0,0250 47	0,44399 2	0,05549 9
Parallel	12	0,027116	0,02774 8	0,0255 71	0,0254 18	0,41411	0,03450 9
Parallel	16	0,045125	0,03868 1	0,0475 29	0,0360 11	0,24884 2	0,01555 3



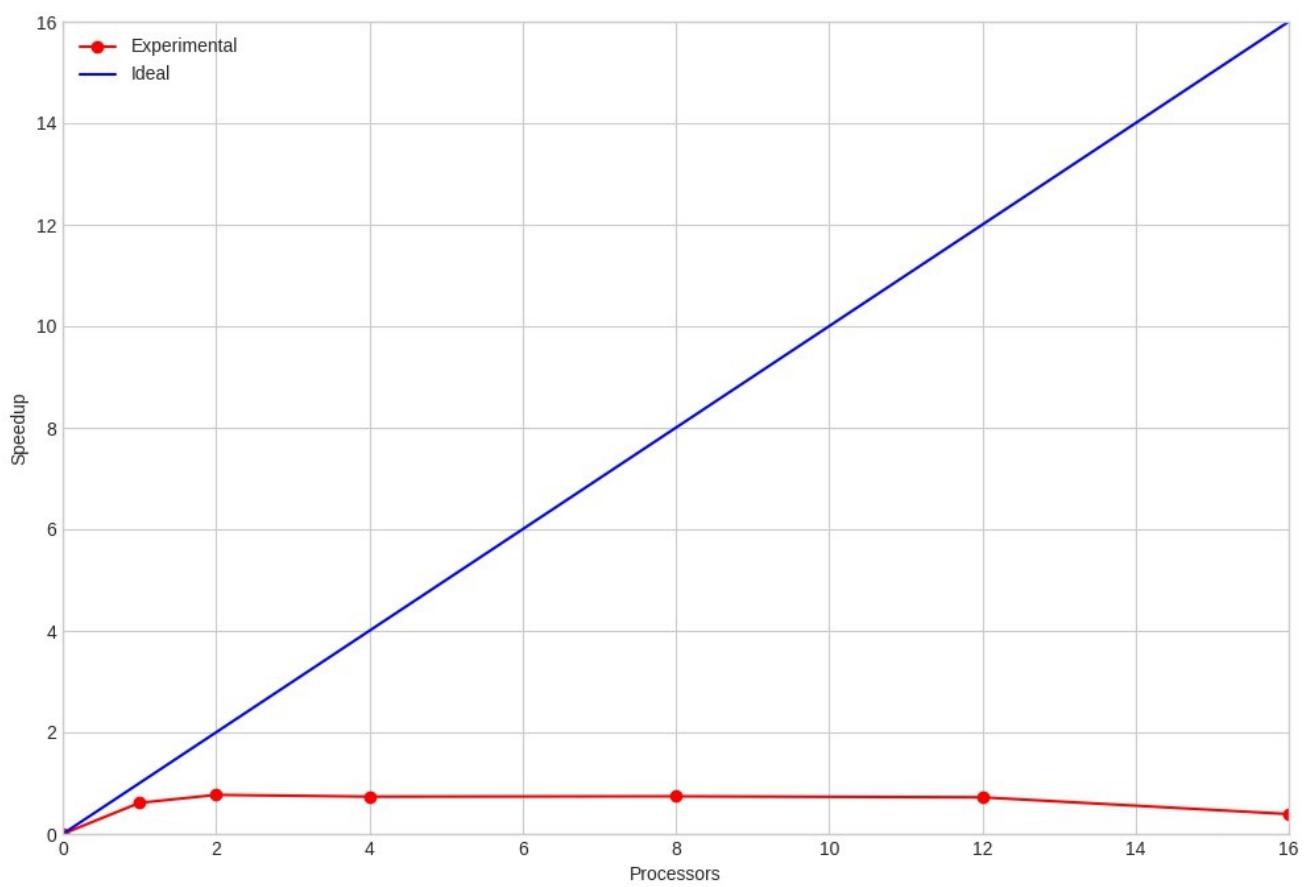
Size-100'000'000-O0

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,907235	0,90523	0,9057 19	0,9090 44	1	1
Parallel	1	1,379096	1,19977 7	1,1992 84	1,4609 45	0,65784 8	0,65784 8
Parallel	2	0,849446	0,70124 1	0,7038 65	0,8192 79	1,06803 1	0,53401 6
Parallel	4	0,453848	0,44608 4	0,4458 9	0,4205 4	1,99898 4	0,49974 6
Parallel	8	0,390362	0,46511 1	0,4649 42	0,3752 26	2,32408 6	0,29051 1
Parallel	12	0,444998	0,35812 3	0,3384 49	0,4907 98	2,03873 9	0,16989 5
Parallel	16	0,476351	0,51690 5	0,5996 03	0,4355 89	1,90455 1	0,11903 4



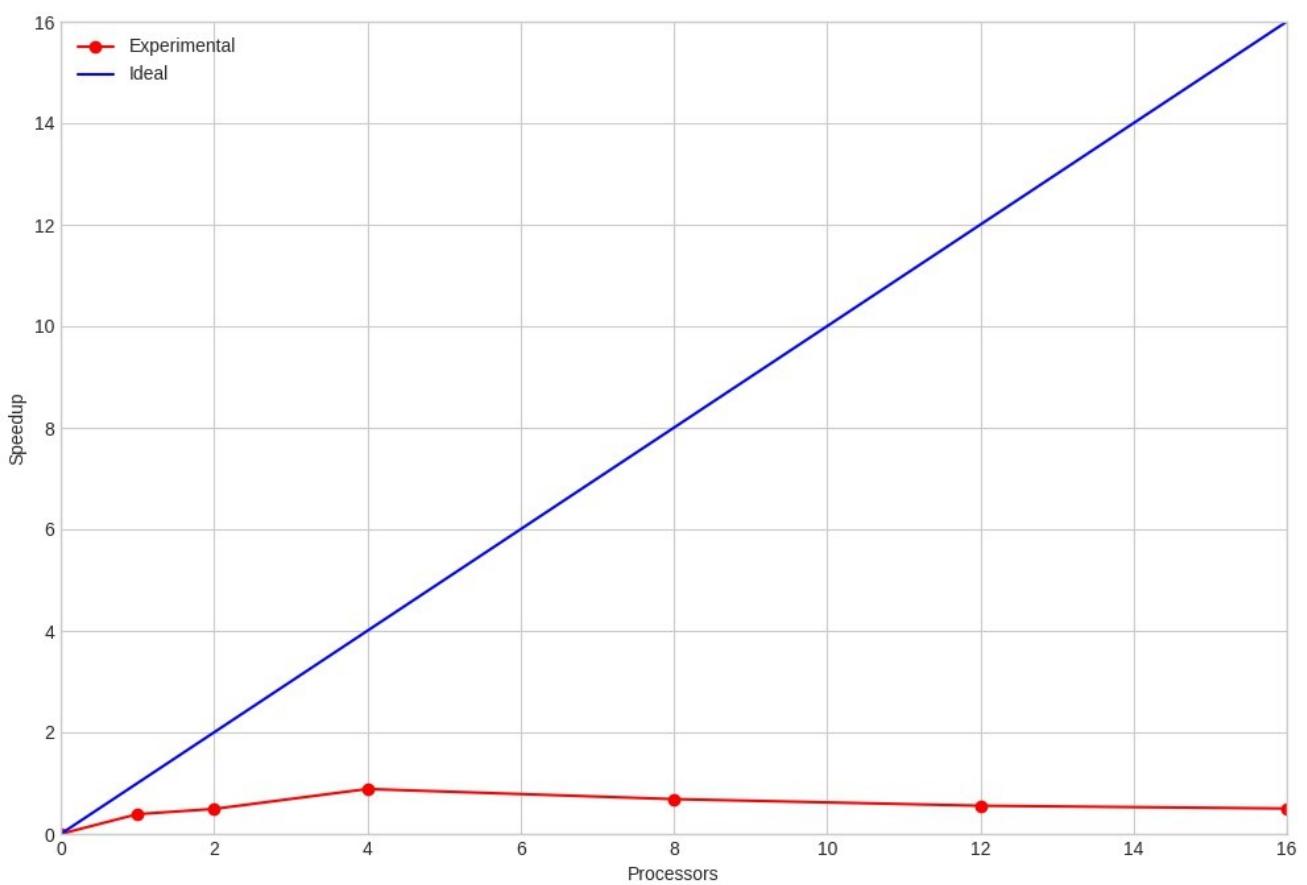
Size-100'000'000-O1

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency



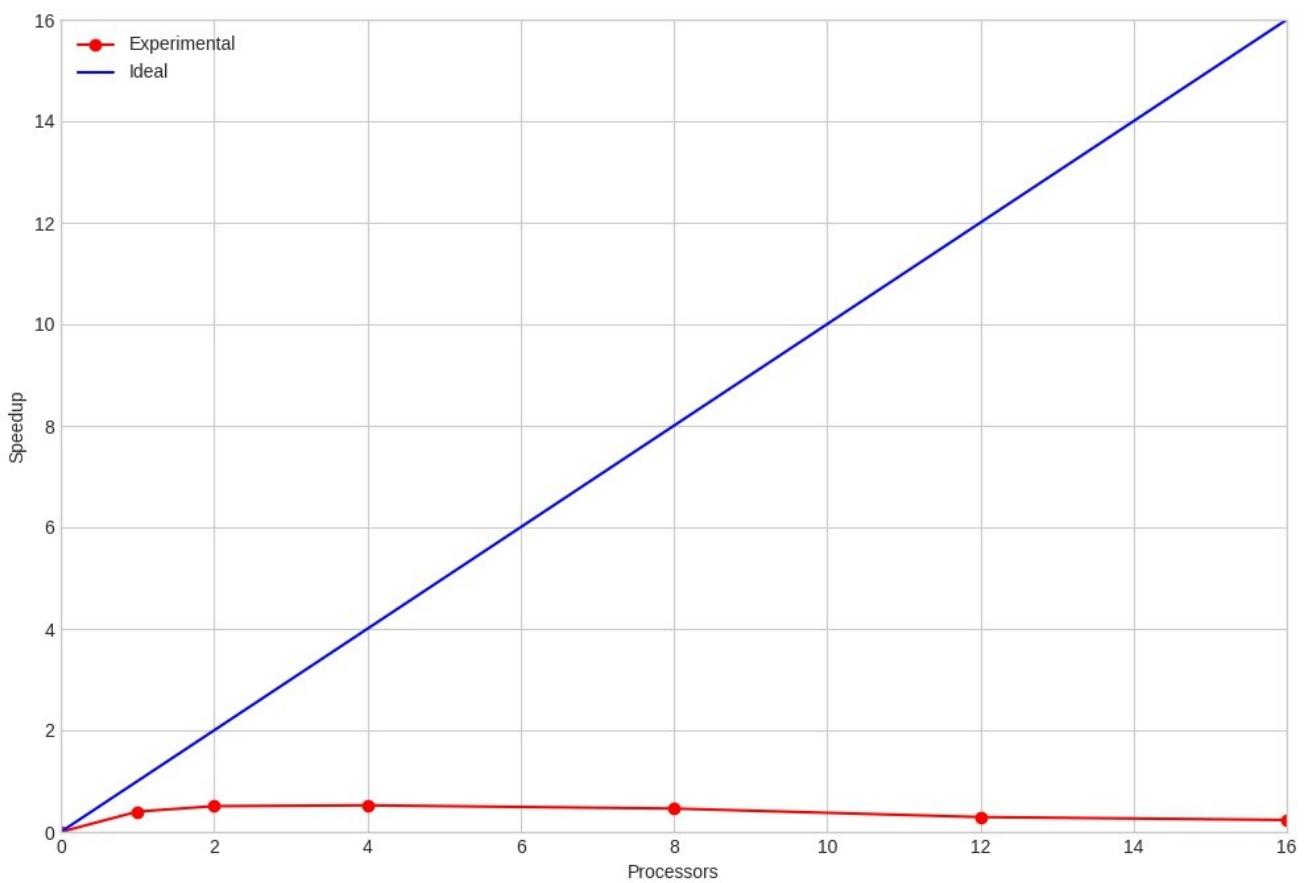
Size-100'000'000-O2

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,16723	0,16592 8	0,1669 42	0,1697 26	1	1
Parallel	1	0,42879	0,25829	0,2594 29	0,2671 79	0,39000 4	0,39000 4
Parallel	2	0,339437	0,21910 1	0,2199 69	0,2265 85	0,49266 9	0,24633 4
Parallel	4	0,18885	0,19360 5	0,2696 05	0,1981 71	0,88551 8	0,22137 9
Parallel	8	0,243693	0,22311 3	0,2181 01	0,2259 85	0,68623 2	0,08577 9
Parallel	12	0,300505	0,25270 3	0,2449 28	0,2514 63	0,55649 7	0,04637 5
Parallel	16	0,333833	0,59834 1	0,4171 5	0,3711 18	0,50093 9	0,03130 9



Size-100'000'000-O3

Version	Processes	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,108798	0,109358	0,107565	0,108247	1	1
Parallel	1	0,271293	0,265039	0,257211	0,2559	0,401035	0,401035
Parallel	2	0,214072	0,228114	0,227772	0,237536	0,508231	0,254115
Parallel	4	0,207397	0,20079	0,197462	0,202283	0,524588	0,131147
Parallel	8	0,236124	0,23845	0,230341	0,310513	0,460766	0,057596
Parallel	12	0,370772	0,268421	0,246783	0,27027	0,293436	0,024453
Parallel	16	0,461022	0,393509	0,410841	0,394661	0,235993	0,01475



Case study n°2 (VMWare Virtual Machine)

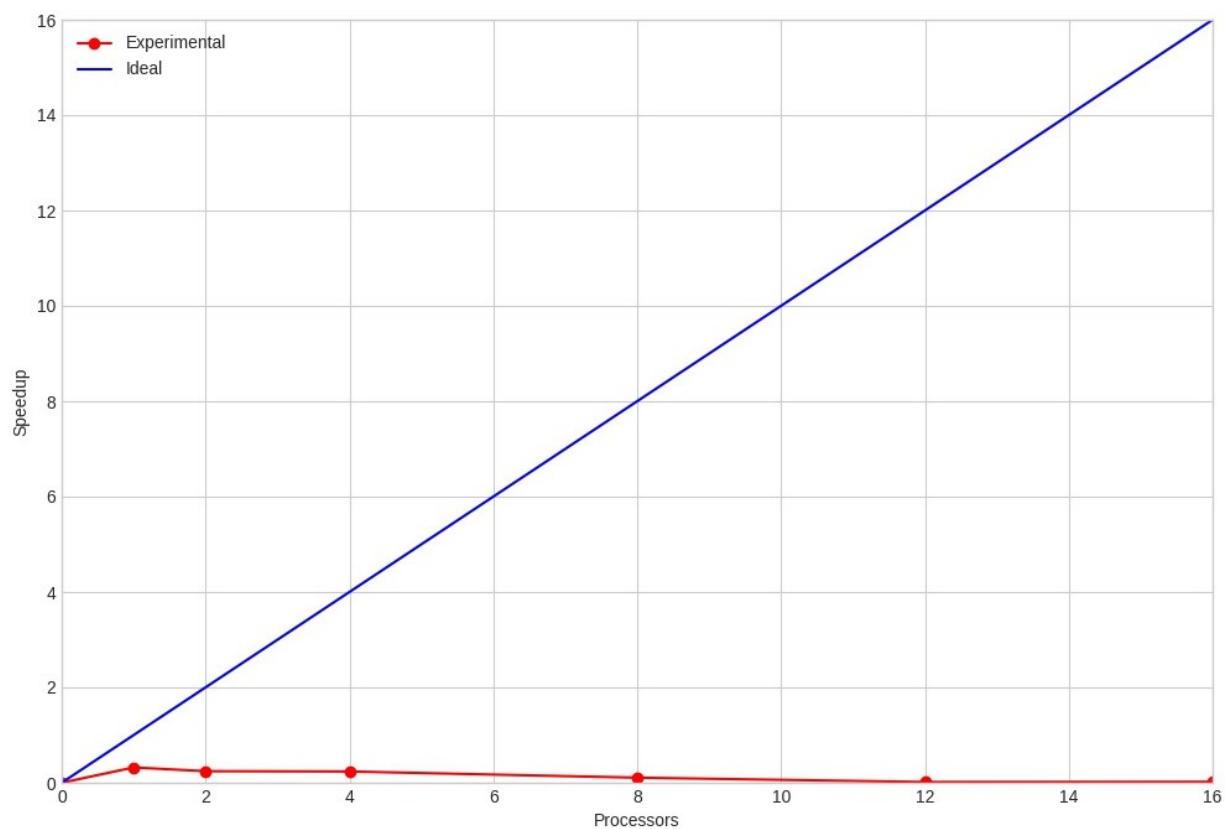
Il secondo caso di studio è stato preso in considerazione utilizzando la medesima architettura (8 cores 16 threads) ma utilizzando la macchina virtuale VMWare.

Come per il precedente caso di studio, l'analisi ha previsto l'utilizzo di diverse dimensioni del vettore da ordinare (1'000, 10'000, 100'000, 1'000'000, 10'000'000, 100'000'000) con un numero differente di processi (1, 2, 4, 8, 12, 16) per ognuna di esse.

Device	Summary
 Memory	16 GB
 Processors	16
 Hard Disk (SCSI)	20 GB
 CD/DVD (SATA)	Auto detect
 Network Adapter	NAT
 USB Controller	Present
 Sound Card	Auto detect
 Printer	Present
 Display	Auto detect

Size-1000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	9,00E-06	9,00E-06	9,00E-06	1,00E-05	1	1
Parallel	1	2,80E-05	2,90E-05	2,80E-05	3,50E-05	0,321428571	0,321428571
Parallel	2	3,70E-05	4,40E-05	4,50E-05	3,30E-05	0,243243243	0,121621622
Parallel	4	3,80E-05	3,80E-05	4,40E-05	7,80E-05	0,236842105	0,059210526
Parallel	8	8,40E-05	8,50E-05	0,000432	8,10E-05	0,107142857	0,013392857
Parallel	12	0,000556	0,000735	0,000416	0,000436	0,01618705	0,001348921
Parallel	16	0,000442	0,015433	0,000744	0,039763	0,020361991	0,001272624



Size-1000-O1

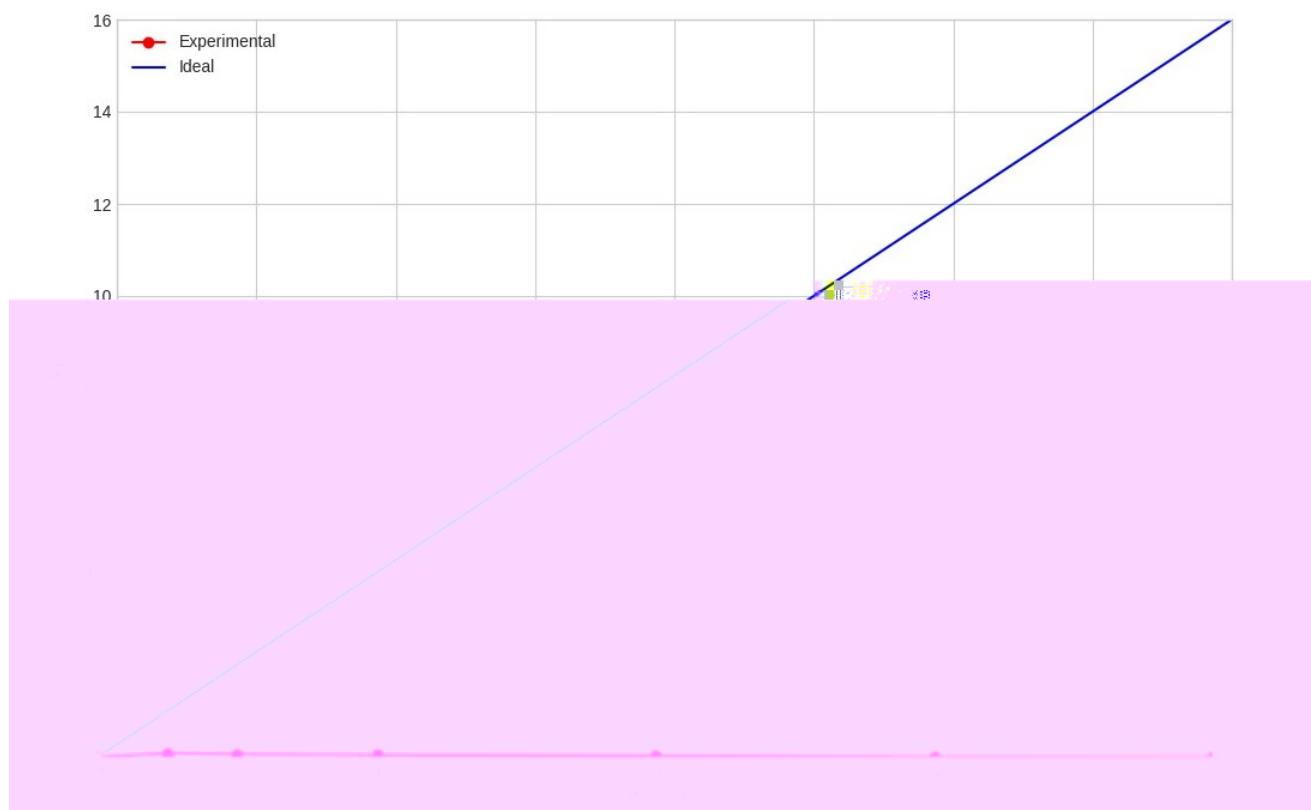
Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	3,00E-06	3,00E-06	3,00E-06	3,00E-06	1	1
Parallel	1	2,80E-05	2,90E-05	3,20E-05	2,40E-05	0,107142857	0,107142857
Parallel	2	4,00E-05	3,40E-05	2,80E-05	4,70E-05	0,075	0,0375

Size-1000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	4,00E-06	3,00E-06	3,00E-06	2,00E-06	1	1
Parallel	1	2,40E-05	2,10E-05	2,40E-05	2,30E-05	0,166666667	0,166666667
Parallel	2	3,10E-05	3,40E-05	3,10E-05	3,40E-05		

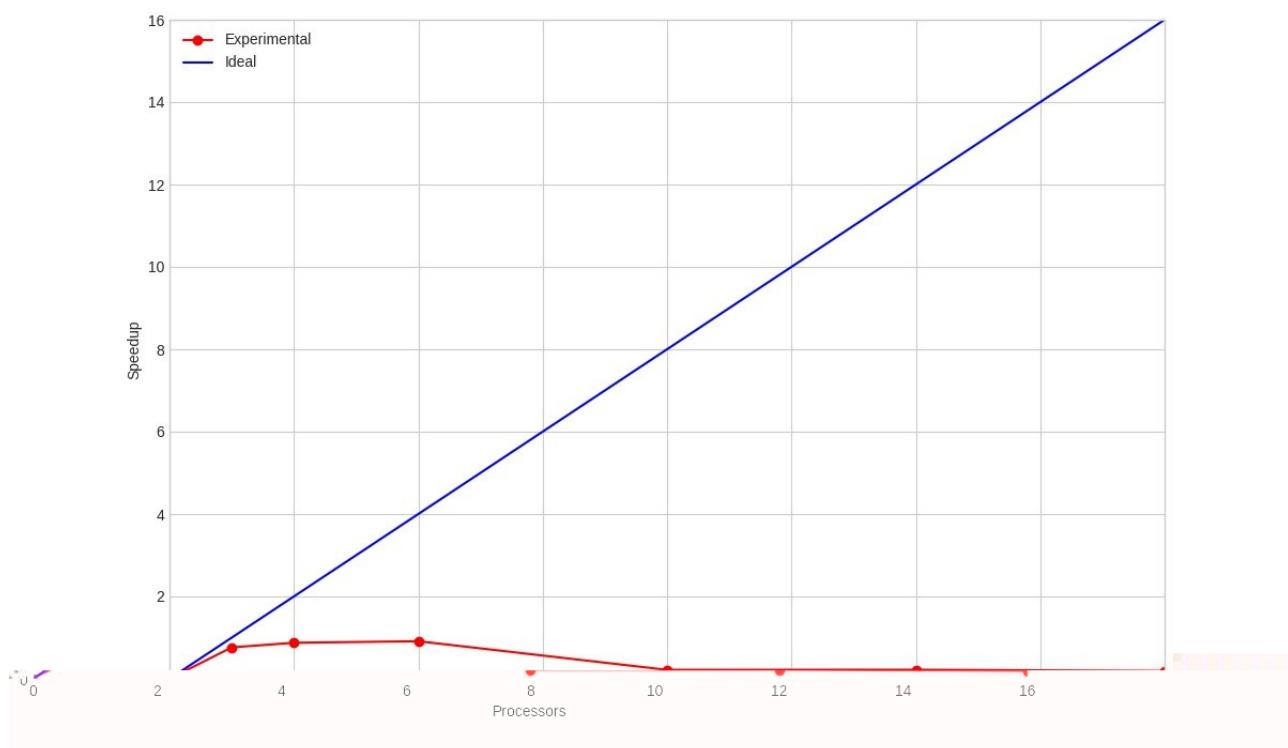
Size-1000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	1	1
Parallel	1	2,40E-05	2,20E-05	2,20E-05	2,50E-05	0,083333333	0,083333333
Parallel	2	3,10E-05	2,80E-05	2,60E-05	3,70E-05	0,064516129	0,032258065
Parallel	4	4,70E-05	4,20E-05	4,00E-05	4,60E-05	0,042553191	0,010638298
Parallel	8	7,50E-05	0,000278	0,00042	7,20E-05	0,026666667	0,003333333
Parallel	12	0,000362	0,000428	0,000335	0,000394	0,005524862	0,000460405
Parallel	16	0,002093	0,00088	0,029917	0,000382	0,000955566	5,97E-05



Size-10000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	8,40E-05	7,70E-05	7,70E-05	8,70E-05	1	1
Parallel	1	0,00011	0,000116	0,0001 32	0,000116	0,763636 364	0,763636 364
Parallel	2	9,60E-05	0,000104	8,50E- 05	0,000103	0,875	0,4375
Parallel	4	9,20E-05	0,0001	9,60E-05	9,20E-05	0,9130 43478	0,228260 87
Parallel	8	0,000385	0,000411	0,00013 1	0,000429	0,218181 818	0,027272 727
Parallel	12	0,000381	0,00038	0,00044 1	0,001734	0,220472 441	0,018372 703
Parallel	16	0,000441	0,040572	0,00040 3	0,001092	0,190476 19	0,011904 762

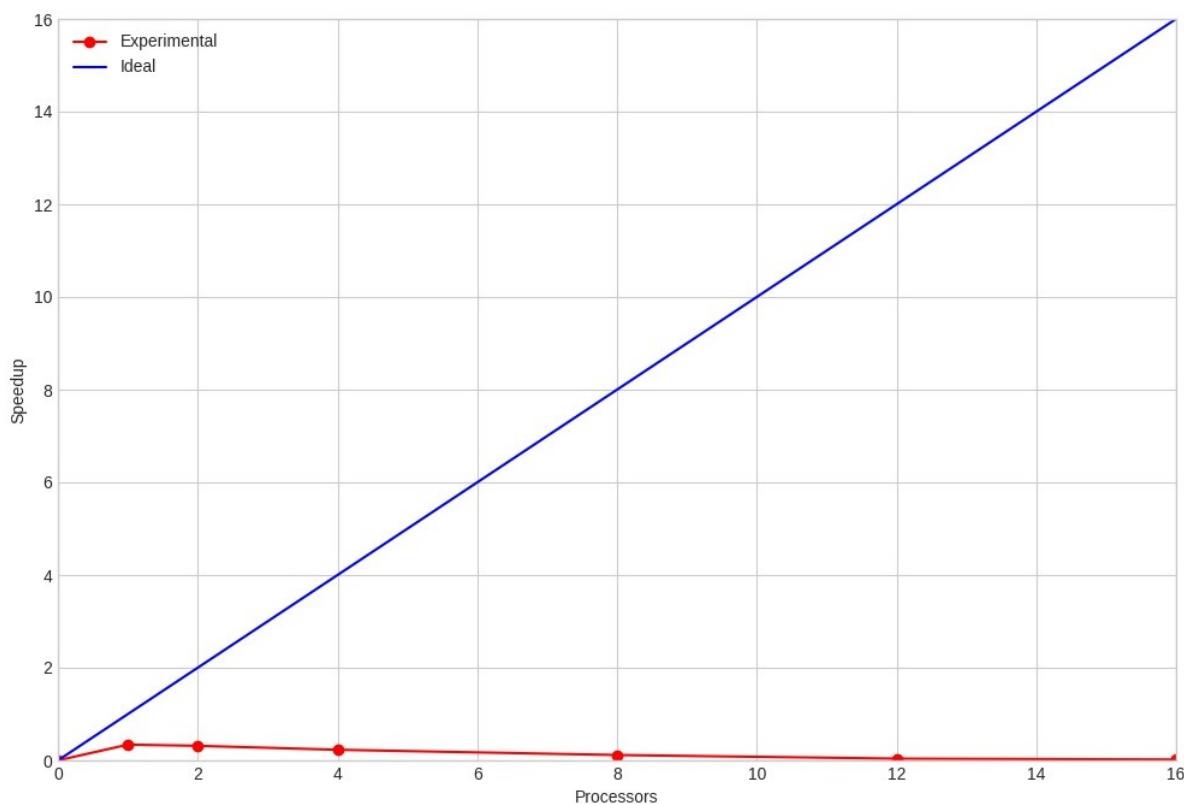


Size-10000-O1

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	
---------	---------	---------	------	-----	--

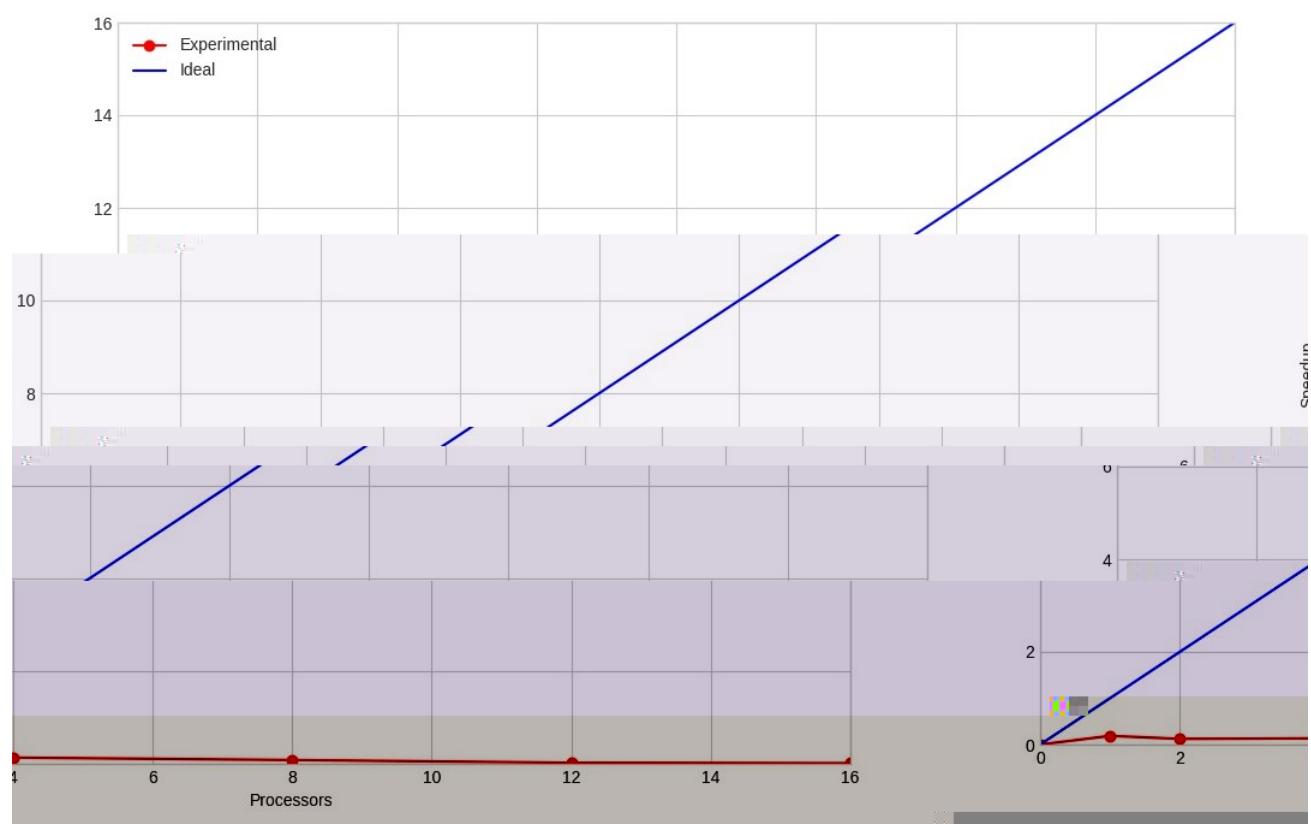
Size-10000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	1,70E-05	1,60E-05	1,80E-05	2,10E-05	1	1
Parallel	1	5,00E-05	5,40E-05	7,10E-05	5,80E-05	0,34	0,34
Parallel	2	5,40E-05	5,10E-05	5,00E-05	5,30E-05	0,314814815	0,157407407
Parallel	4	7,40E-05	9,40E-05	7,00E-05	8,30E-05	0,22972973	0,057432432
Parallel	8	0,000146	0,000116	0,000163	0,000147	0,116438356	0,014554795
Parallel	12	0,000438	0,00051	0,000616	0,000382	0,038812785	0,003234399
Parallel	16	0,000875	0,023596	0,000416	0,011341	0,019428571	0,001214286



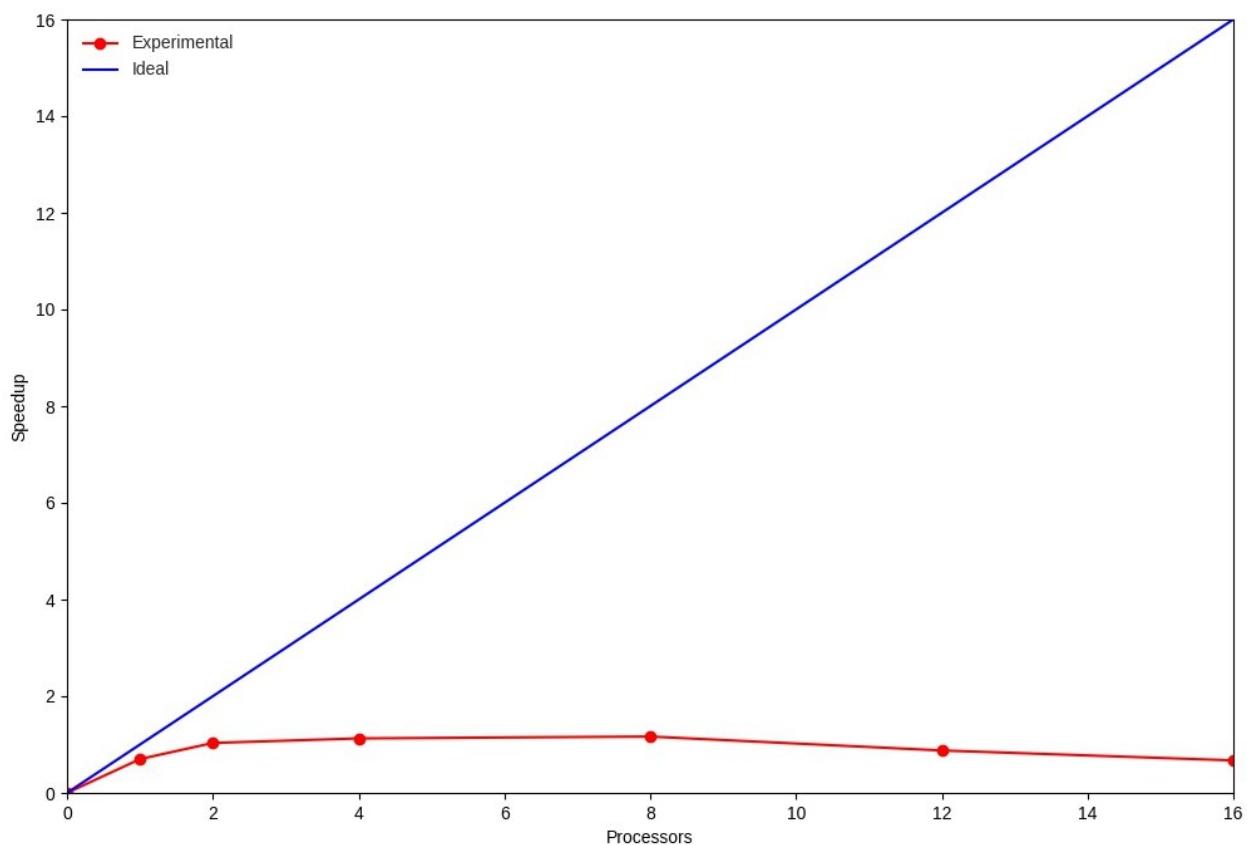
Size-10000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	9,00E-06	9,00E-06	1,10E-05	1,10E-05	1	1
Parallel	1	4,80E-05	4,10E-05	3,80E-05	5,30E-05	0,1875	0,1875
Parallel	2	7,30E-05	6,60E-05	9,20E-05	8,20E-05	0,123287	0,061643
Parallel	4	6,70E-05	6,70E-05	0,000127	7,50E-05	0,1343	0,033582
Parallel	8	0,000116	0,000115	0,000116	0,000129	0,081818	0,010227
Parallel	12	0,000392	0,000389	0,000439	0,000381	0,022959	0,001913
Parallel	16	0,000671	0,002226	0,000415	0,000441	0,013412	0,000838



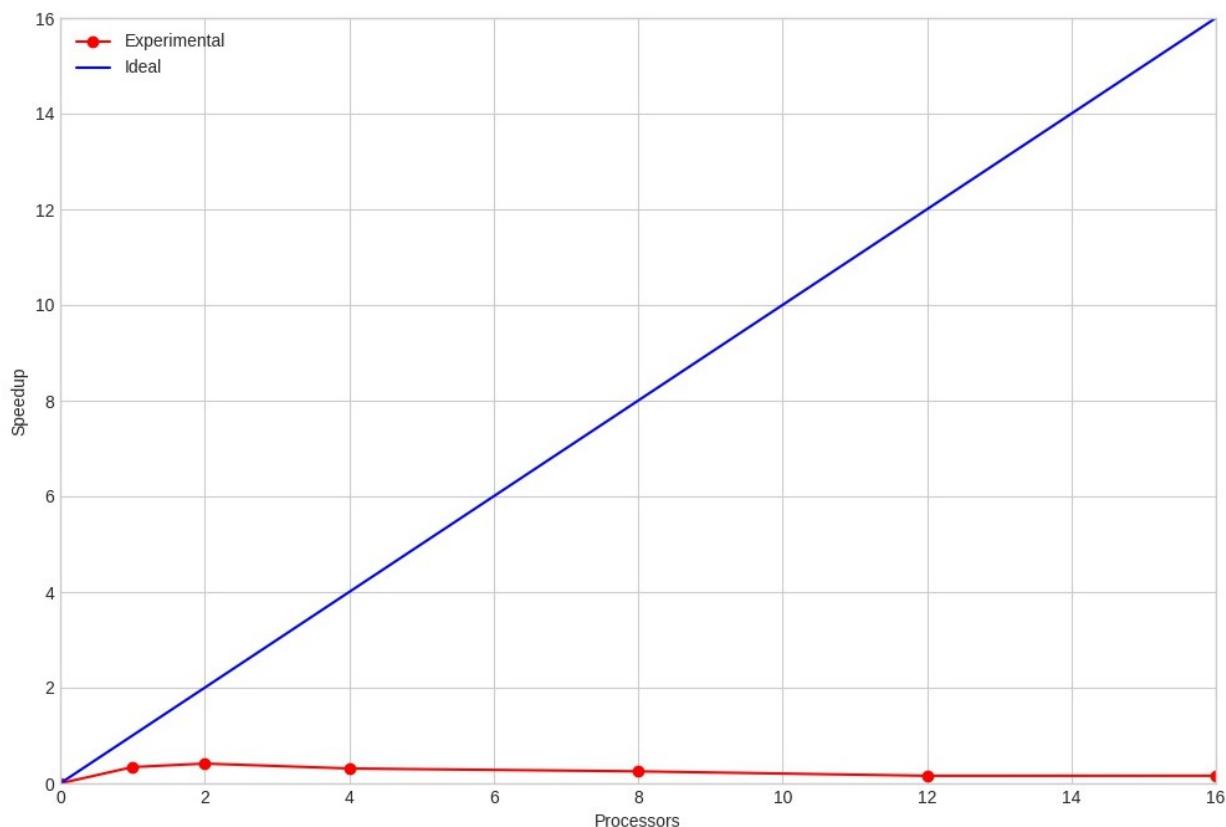
Size-100000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000893	0,000979	0,00097 7	0,000909	1	1
Parallel	1	0,001277	0,001278	0,0014 59	0,001299	0,699295 223	0,699295 223
Parallel	2	0,000864	0,000904	0,0008 66	0,000843	1,033564 815	0,516782 407
Parallel	4	0,000792	0,000841	0,00067 9	0,000679	1,1275 25253	0,281881 313
Parallel	8	0,000766	0,001277	0,00098 5	0,000765	1,165796 345	0,145724 543
Parallel	12	0,001017	0,001023	0,0012	0,001019	0,878072 763	0,073172 73
Parallel	16	0,001328	0,001034	0,00194 6	0,001325	0,672439 759	0,042027 485



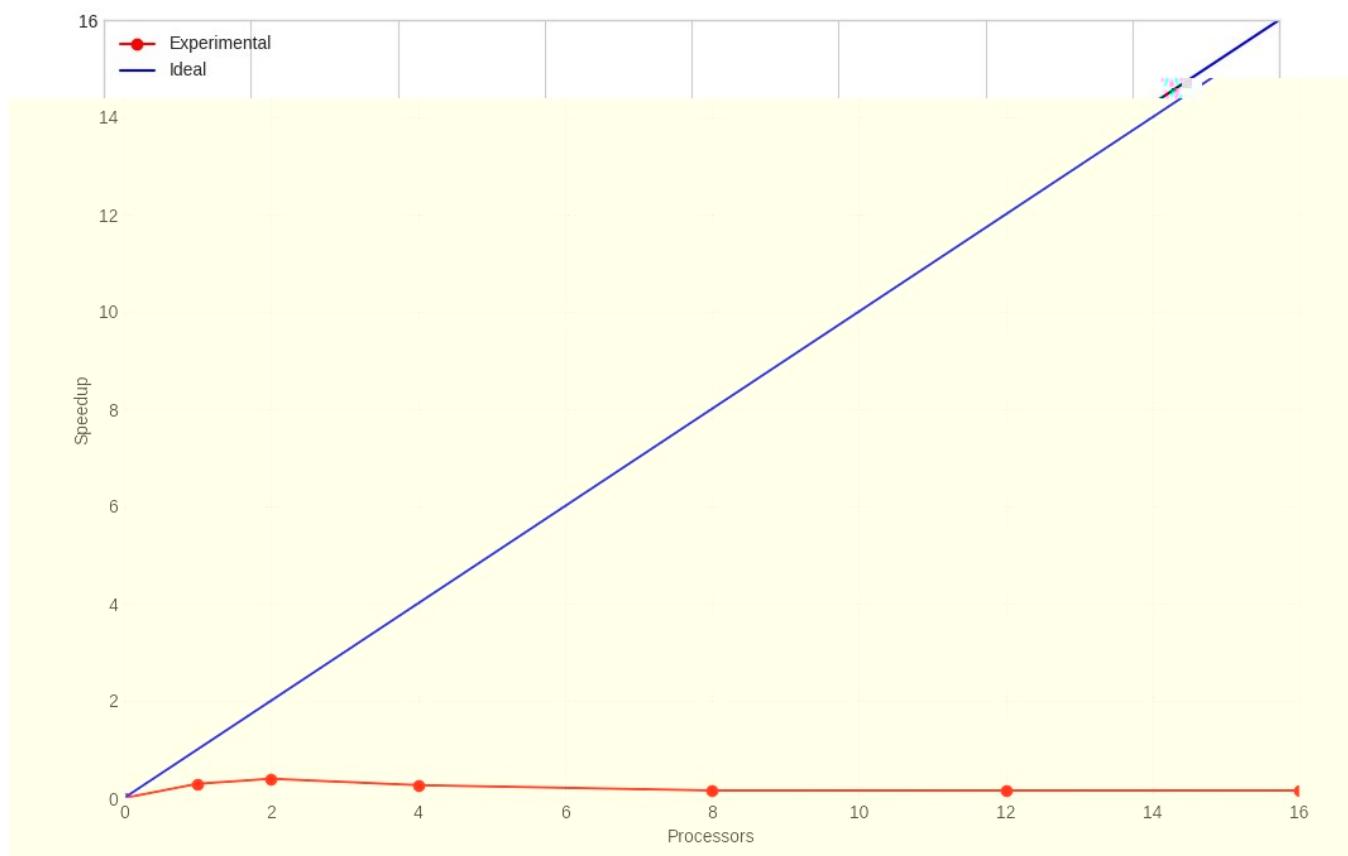
Size-100000-O1

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000149	0,00015	0,000186	0,00015	1	1
Parallel	1	0,000437	0,000476	0,0005	0,00042	0,340961 098	0,340961 098
Parallel	2	0,00036	0,000389	0,00038 9	0,000384	0,413888 889	0,206944 444
Parallel	4	0,000478	0,000629	0,000477	0,000743	0,3117 15481	0,077928 87
Parallel	8	0,000592	0,000908	0,000514	0,000701	0,251689 189	0,031461 149
Parallel	12	0,000936	0,000977	0,001008	0,000987	0,159188 034	0,013265 67
Parallel	16	0,000931	0,000909	0,025841	0,000922	0,160042 965	0,010002 685



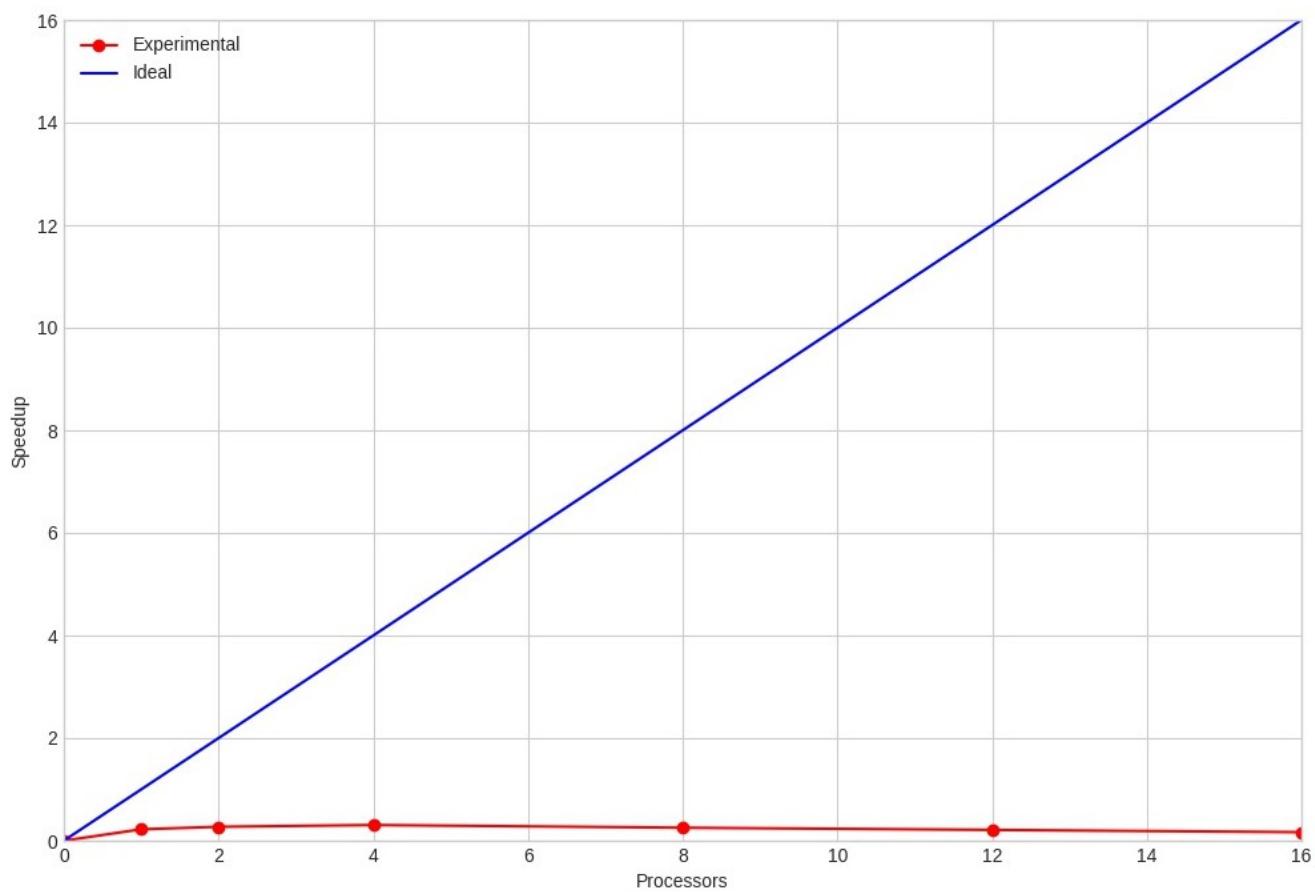
Size-100000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000148	0,000146	0,000146	0,000148	1	1
Parallel	1	0,000504	0,000384	0,000427	0,000415	0,293650794	0,293650794
Parallel	2	0,000373	0,000399	0,00039	0,000502	0,396782842	0,198391421
Parallel	4	0,000558	0,000637	0,000537	0,000571	0,265232975	0,066308244
Parallel	8	0,000946	0,001004	0,000614	0,000604	0,156448203	0,019556025
Parallel	12	0,000958	0,000976	0,001384	0,001062	0,154488518	0,012874043
Parallel	16	0,000944	0,000976	0,001684	0,001635	0,156779661	0,009798729



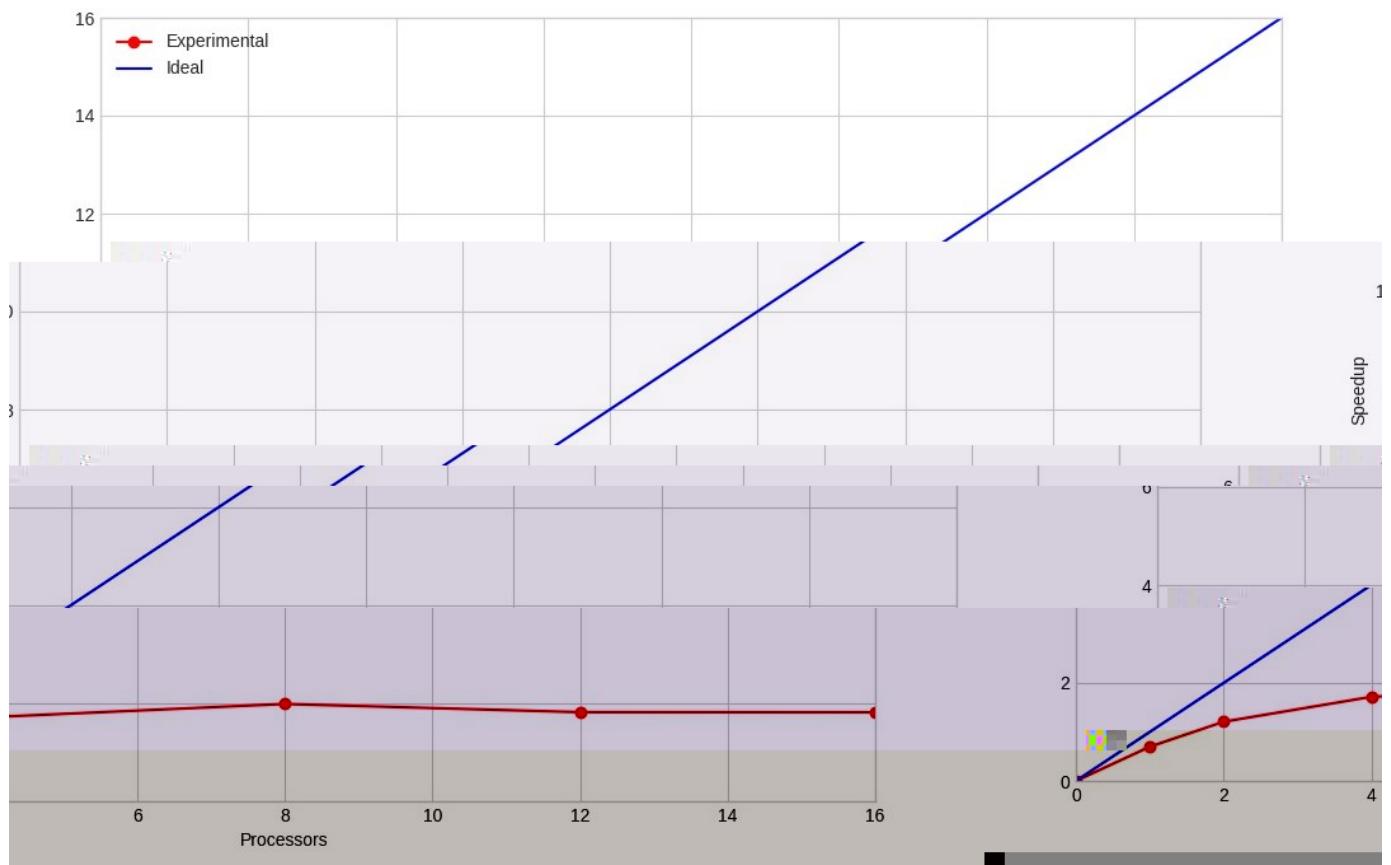
Size-100000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	7,90E-05	7,80E-05	7,80E-05	7,90E-05	1	1
Parallel	1	0,000394	0,000528	0,0003 84	0,000371	0,200507 614	0,200507 614
Parallel	2	0,000397	0,000623	0,0003 5	0,000419	0,198992 443	0,099496 222
Parallel	4	0,000501	0,000481	0,00046 9	0,000482	0,1576 84631	0,039421 158
Parallel	8	0,000596	0,000676	0,00065 1	0,000833	0,132550 336	0,016568 792
Parallel	12	0,000926	0,000947	0,00095 8	0,000941	0,085313 175	0,007109 431
Parallel	16	0,000939	0,001383	0,00101 2	0,0012	0,084132 055	0,005258 253



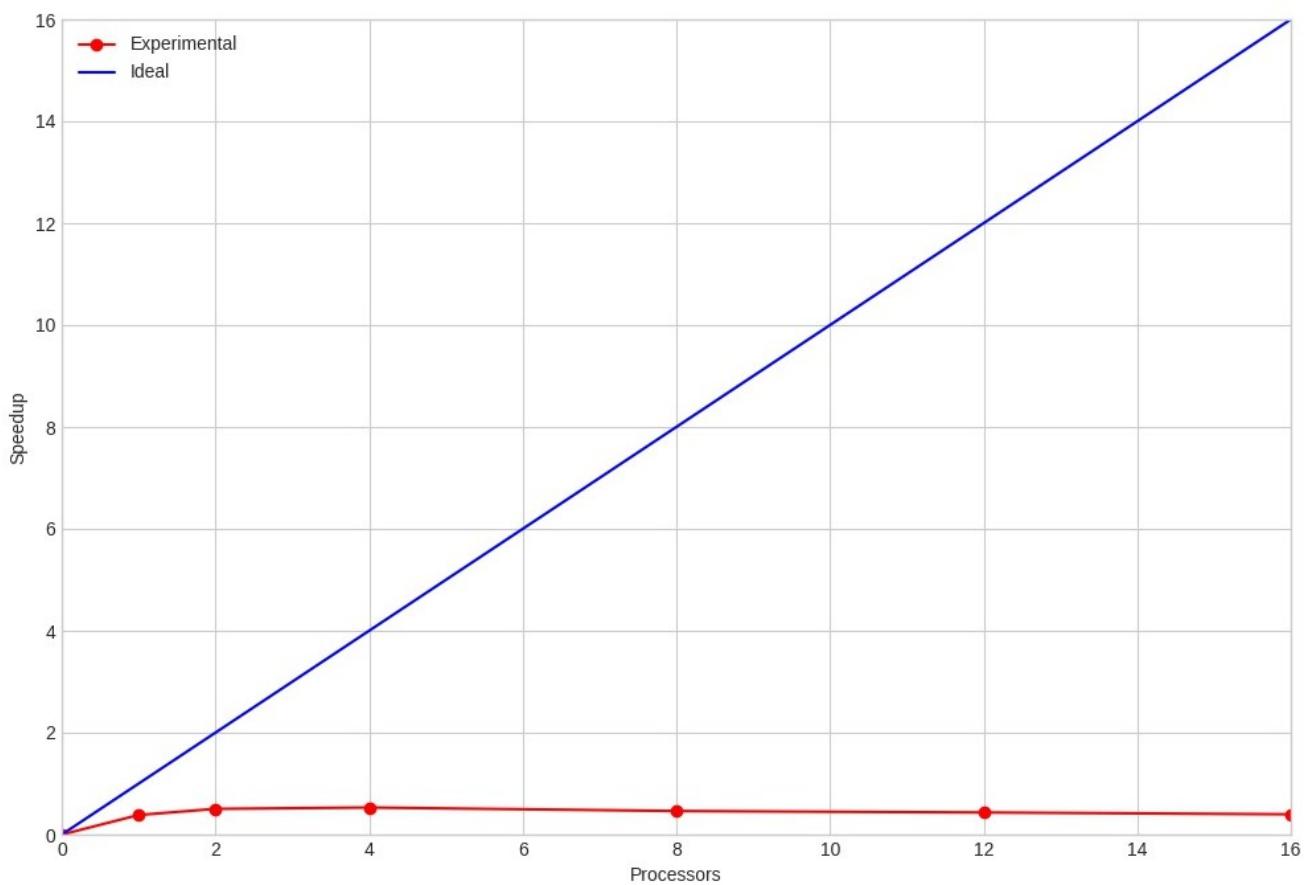
Size-1000000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,00945	0,009404	0,01166	0,012275	1	1
Parallel	1	0,013539	0,013184	0,0136 23	0,013581	0,697983 603	0,697983 603
Parallel	2	0,007819	0,008295	0,0078 98	0,00799	1,208594 449	0,604297 225
Parallel	4	0,005503	0,005426	0,00567 3	0,005986	1,7172 45139	0,429311 285
Parallel	8	0,004755	0,004753	0,00470 5	0,005415	1,987381 703	0,248422 713
Parallel	12	0,005192	0,006239	0,00487 6	0,005533	1,820107 858	0,151675 655
Parallel	16	0,005199	0,008135	0,02122 9	0,023097	1,817657 242	0,113603 578



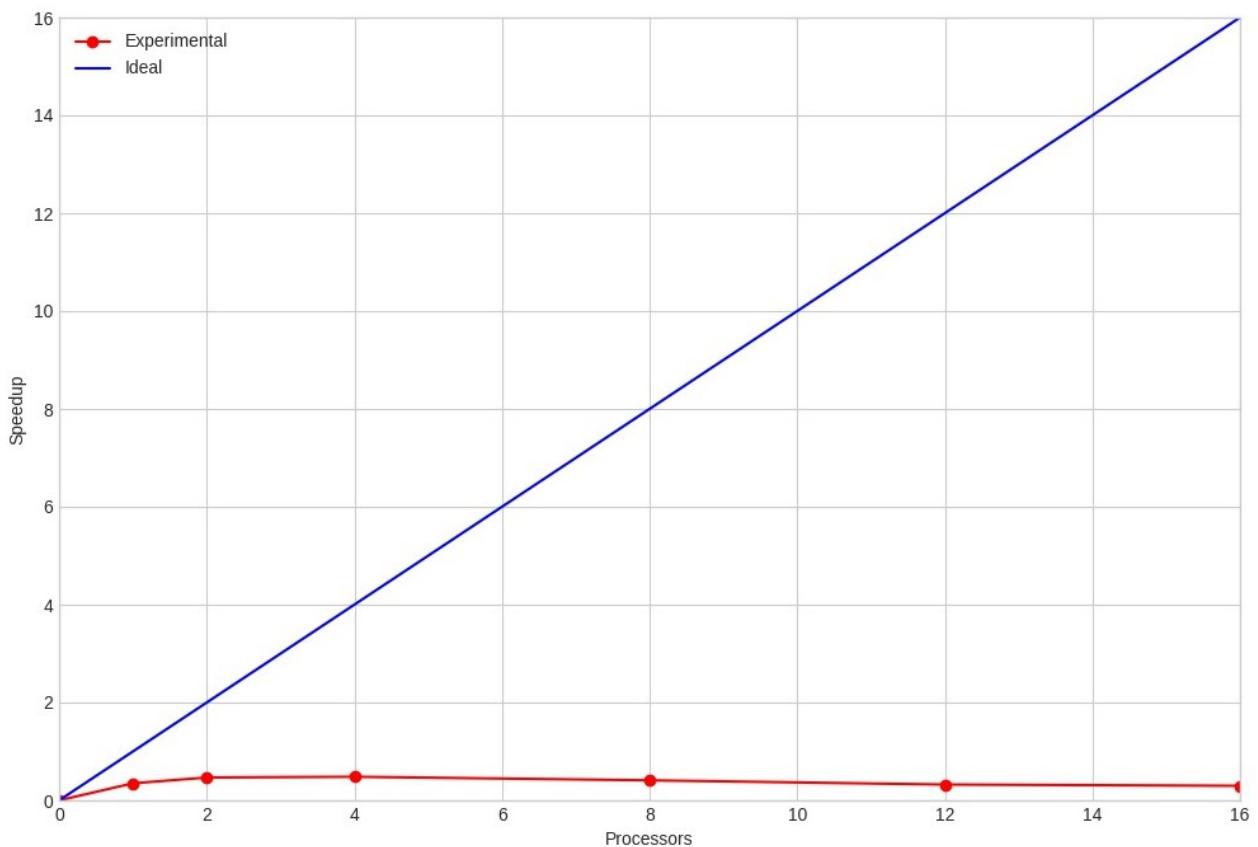
Size-1000000-O1

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,0016	0,00208	0,001629	0,001516	1	1
Parallel	1	0,004161	0,004006	0,004146	0,004206	0,384522951	0,384522951
Parallel	2	0,003165	0,00298	0,00335	0,003536	0,505529226	0,252764613
Parallel	4	0,00301	0,003136	0,002876	0,003127	0,531561462	0,132890365
Parallel	8	0,003455	0,003	0,003748	0,003144	0,463096961	0,05788712
Parallel	12	0,003683	0,004197	0,003901	0,004485	0,434428455	0,036202371
Parallel	16	0,004014	0,004294	0,00455	0,004168	0,398604883	0,024912805



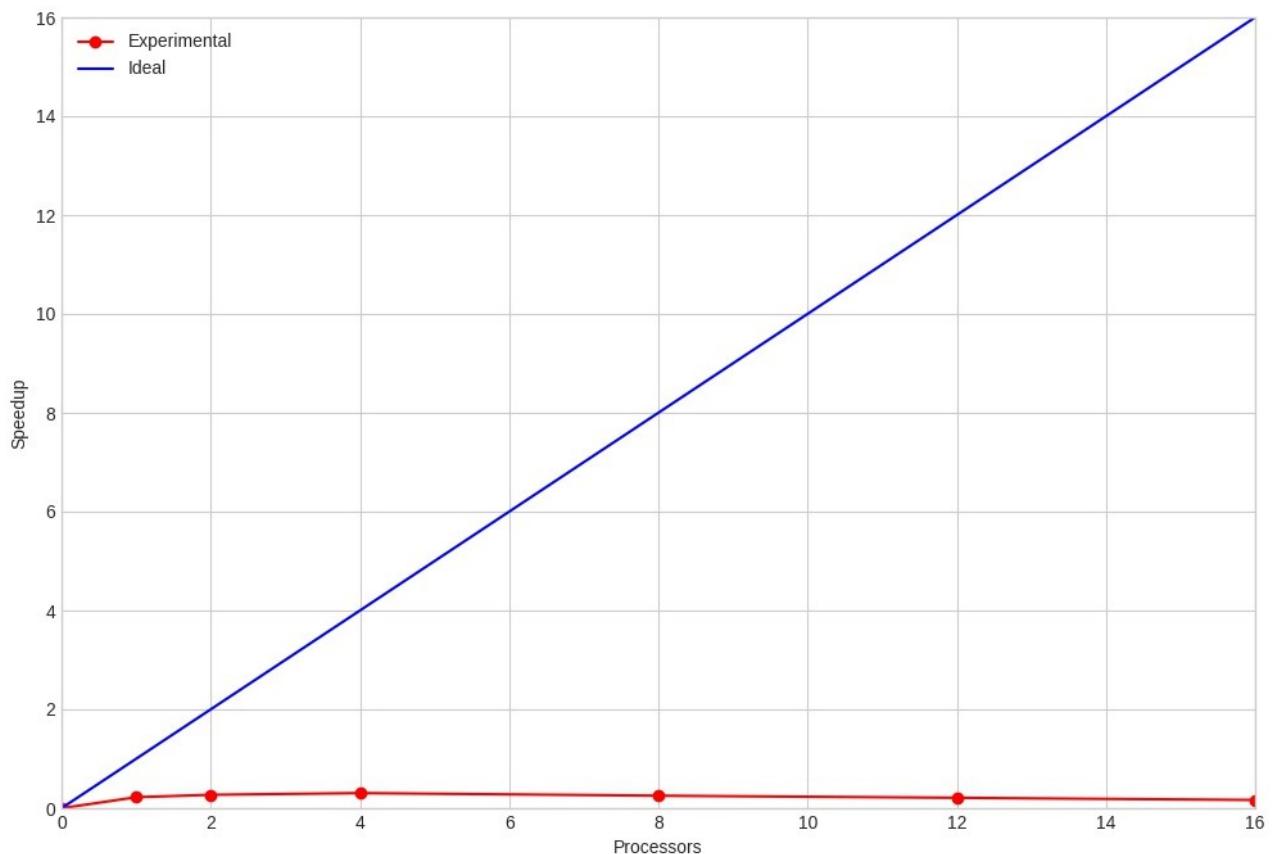
Size-1000000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,001463	0,001481	0,001477	0,001556	1	1
Parallel	1	0,004191	0,004166	0,004138	0,004141	0,349081365	0,349081365
Parallel	2	0,00313	0,003213	0,002881	0,003356	0,467412141	0,23370607
Parallel	4	0,003031	0,003624	0,003001	0,003707	0,482678984	0,120669746
Parallel	8	0,003566	0,003322	0,003615	0,003729	0,410263601	0,05128295
Parallel	12	0,004518	0,00458	0,004157	0,004174	0,323815848	0,026984654
Parallel	16	0,0049	0,004252	0,005136	0,006256	0,298571429	0,018660714



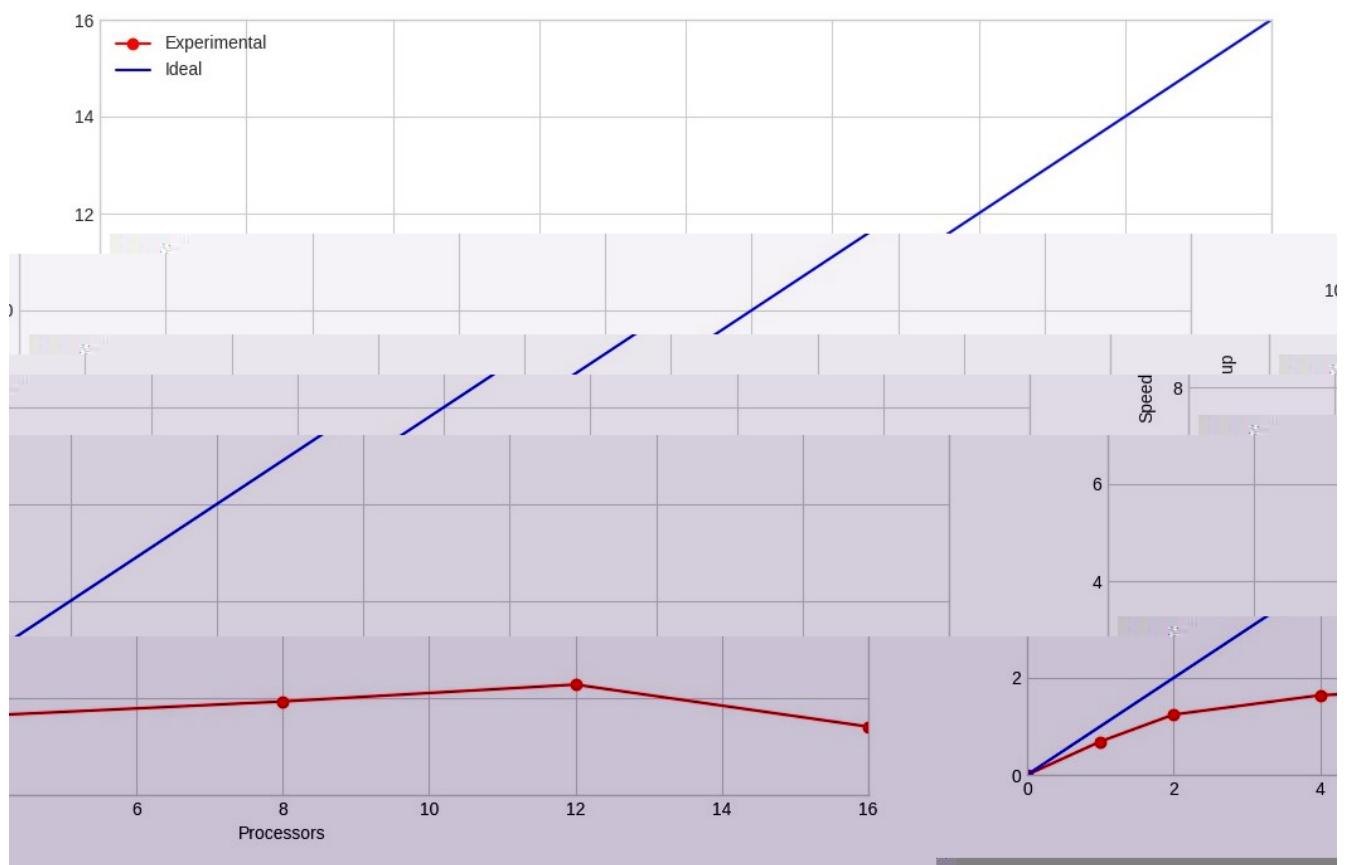
Size-1000000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,000844	0,000793	0,000927	0,001079	1	1
Parallel	1	0,003785	0,003914	0,004121	0,003929	0,222985469	0,222985469
Parallel	2	0,003109	0,003937	0,00313	0,003388	0,271469926	0,135734963
Parallel	4	0,002753	0,002907	0,003391	0,002907	0,306574646	0,076643661
Parallel	8	0,003327	0,003362	0,003876	0,003487	0,253681996	0,031710249
Parallel	12	0,003997	0,005015	0,004045	0,004047	0,211158369	0,017596531
Parallel	16	0,00505	0,03722	0,00542	0,004348	0,167128713	0,010445545



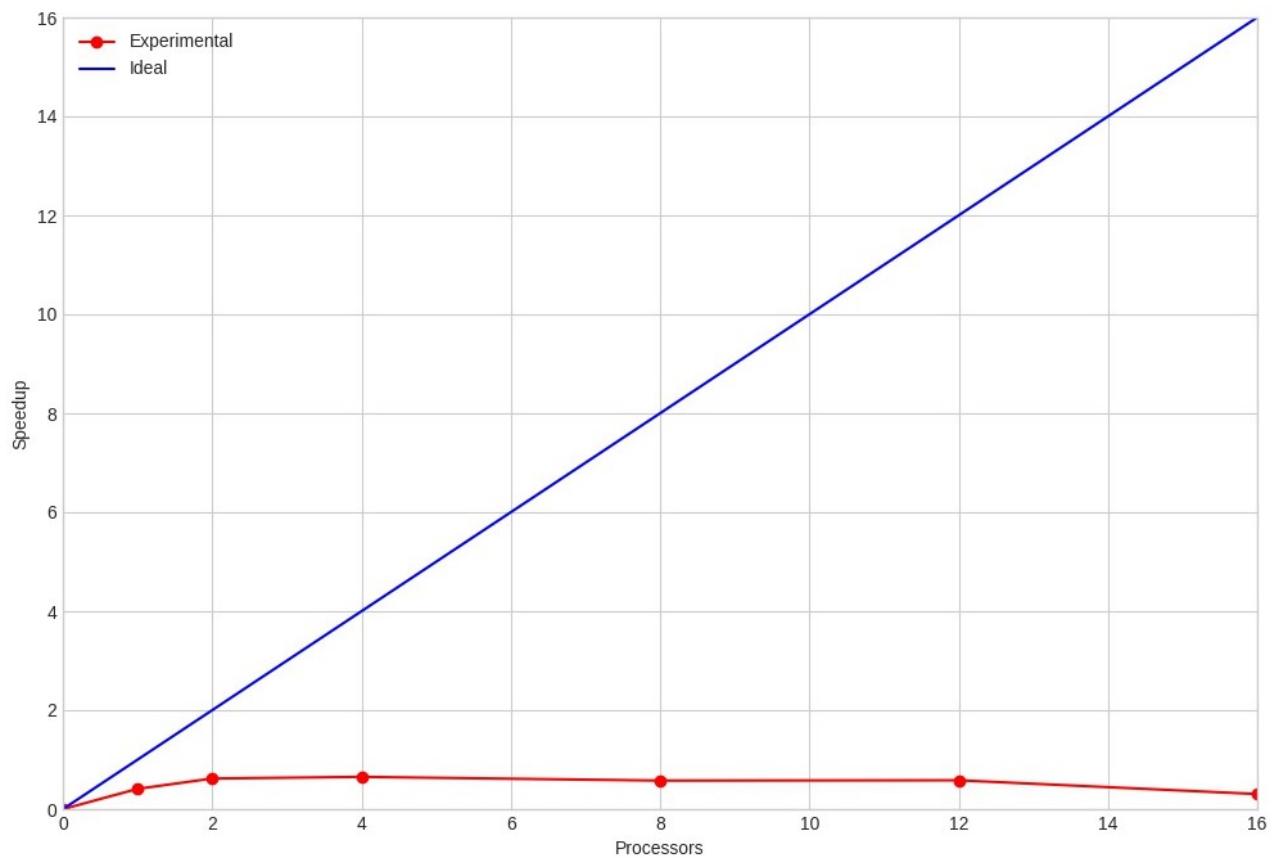
Size-10000000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,094534	0,092753	0,092632	0,091646	1	1
Parallel	1	0,137363	0,134237	0,136774	0,132551	0,688205703	0,688205703
Parallel	2	0,075986	0,075125	0,078038	0,076265	1,244097597	0,622048798
Parallel	4	0,057537	0,057505	0,053339	0,052659	1,643012323	0,410753081
Parallel	8	0,048988	0,042669	0,044446	0,048743	1,929737895	0,241217237
Parallel	12	0,041471	0,044078	0,041779	0,040795	2,279520629	0,189960052
Parallel	16	0,067032	0,069678	0,064329	0,0768	1,410281657	0,088142604



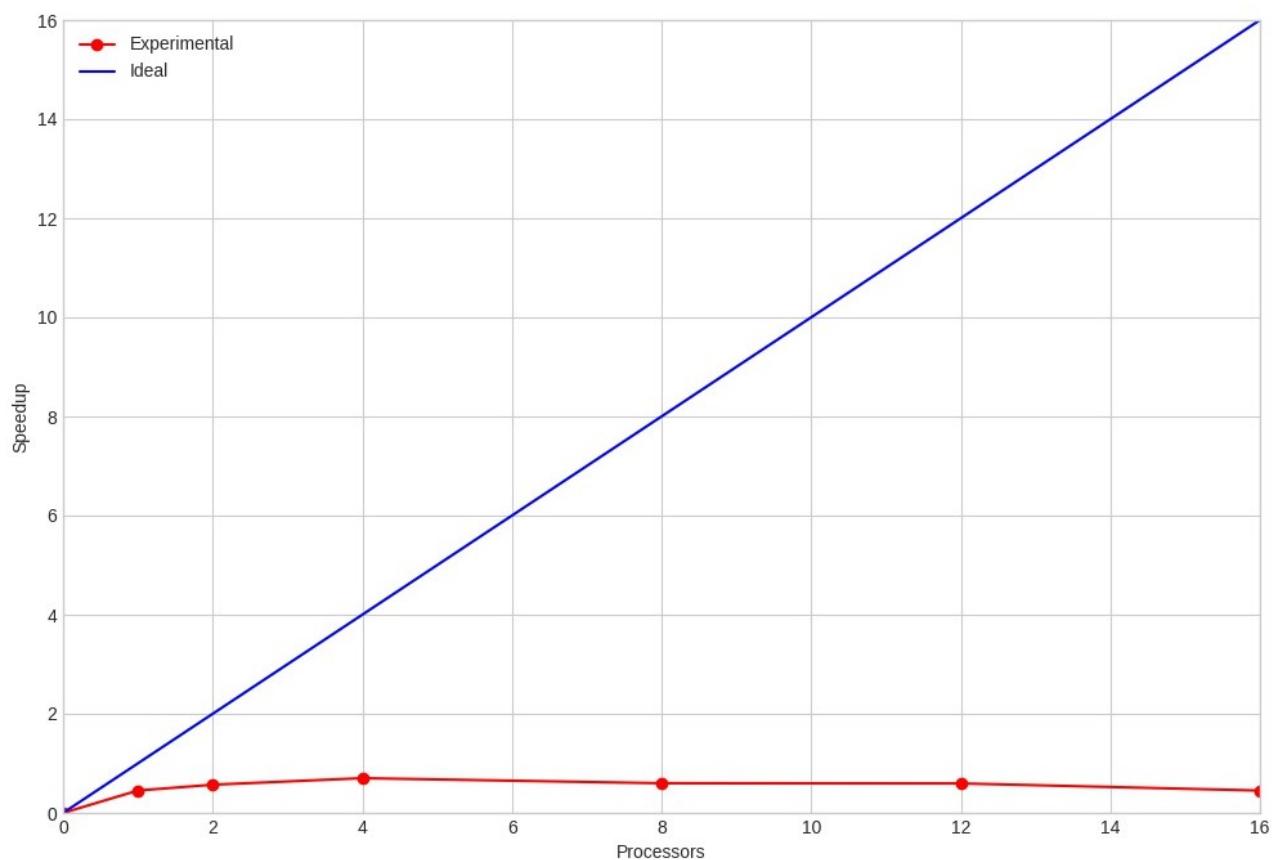
Size-10000000-O1

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,019365	0,019825	0,017942	0,019929	1	1
Parallel	1	0,047208	0,045331	0,044573	0,044124	0,410205897	0,410205897
Parallel	2	0,031275	0,032379	0,031111	0,030461	0,619184652	0,309592326
Parallel	4	0,029675	0,030809	0,031274	0,029849	0,652569503	0,163142376
Parallel	8	0,03353	0,03051	0,031562	0,034252	0,577542499	0,072192812
Parallel	12	0,033187	0,032219	0,032154	0,031465	0,583511616	0,048625968
Parallel	16	0,06334	0,051469	0,067137	0,057161	0,305730976	0,019108186



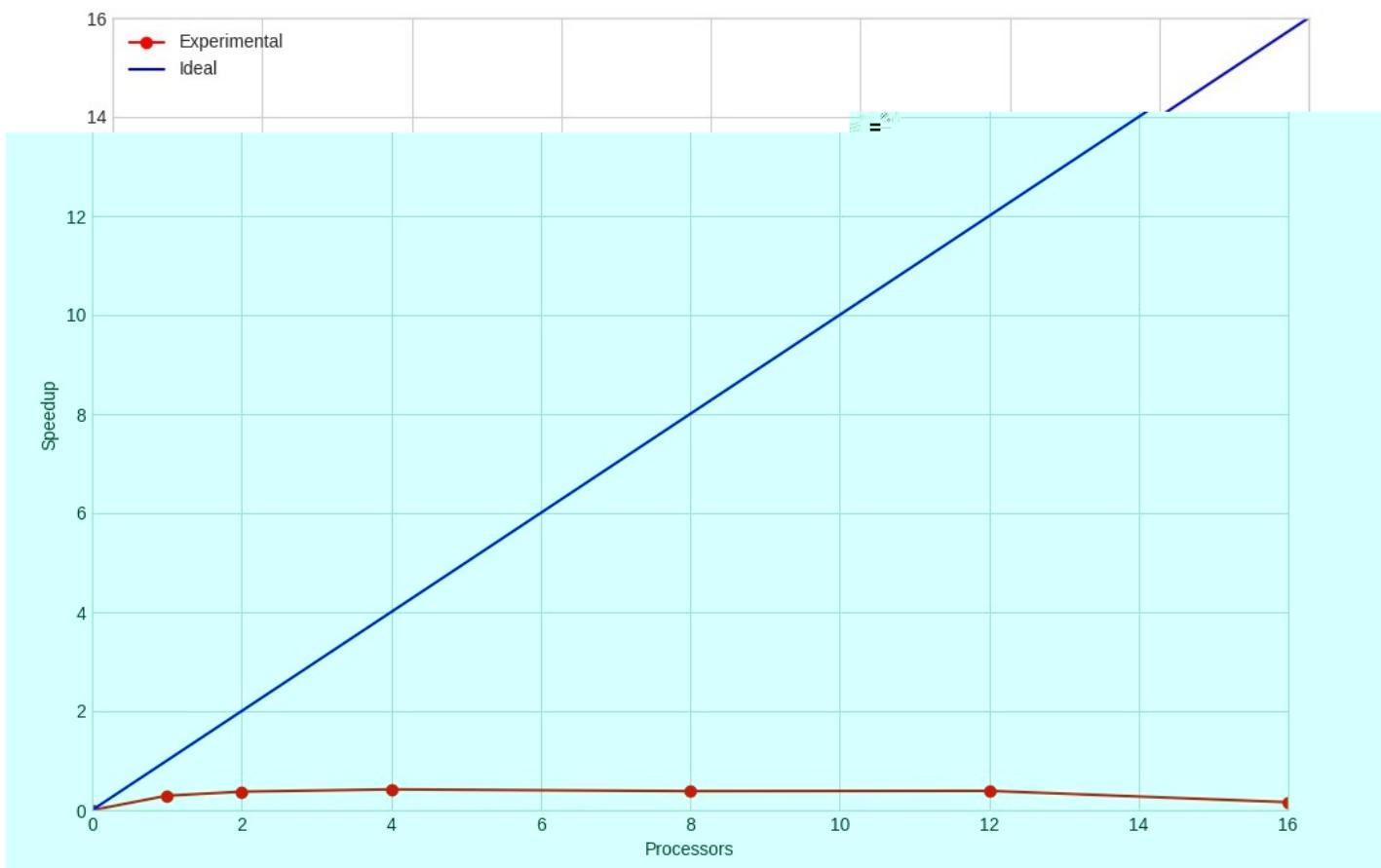
Size-10000000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,01986	0,018811	0,02129 9	0,019242	1	1
Parallel	1	0,043931	0,044823	0,0449 78	0,043809	0,452072 568	0,452072 568
Parallel	2	0,034894	0,033145	0,0307 54	0,032646	0,569152 29	0,284576 145
Parallel	4	0,028322	0,030405	0,03146 8	0,027828	0,7012 21665	0,175305 416
Parallel	8	0,033141	0,032597	0,03145 3	0,032091	0,599257 717	0,074907 215
Parallel	12	0,033379	0,033721	0,03327 1	0,034593	0,594984 871	0,049582 073
Parallel	16	0,043992	0,049743	0,04854 6	0,043041	0,451445 717	0,028215 357



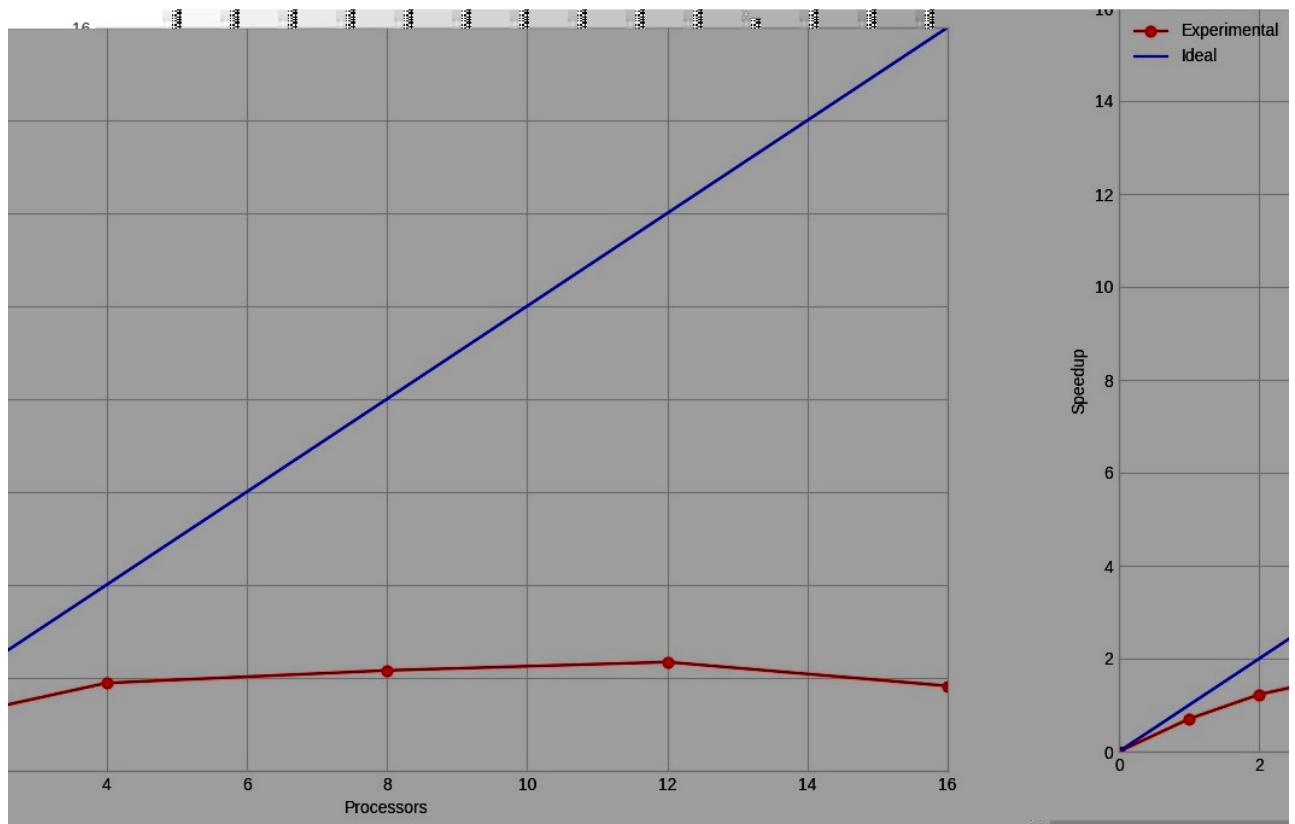
Size-10000000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,012863	0,012544	0,012807	0,013583	1	1
Parallel	1	0,043954	0,04326	0,04215	0,042483	0,292646858	0,292646858
Parallel	2	0,034384	0,031922	0,031143	0,036649	0,374098418	0,187049209
Parallel	4	0,030595	0,03615	0,029458	0,028187	0,420428175	0,105107044
Parallel	8	0,033405	0,032038	0,029772	0,031745	0,385062116	0,048132765
Parallel	12	0,032942	0,033846	0,033059	0,033957	0,390474167	0,032539514
Parallel	16	0,079365	0,053972	0,06939	0,059172	0,162073962	0,010129623



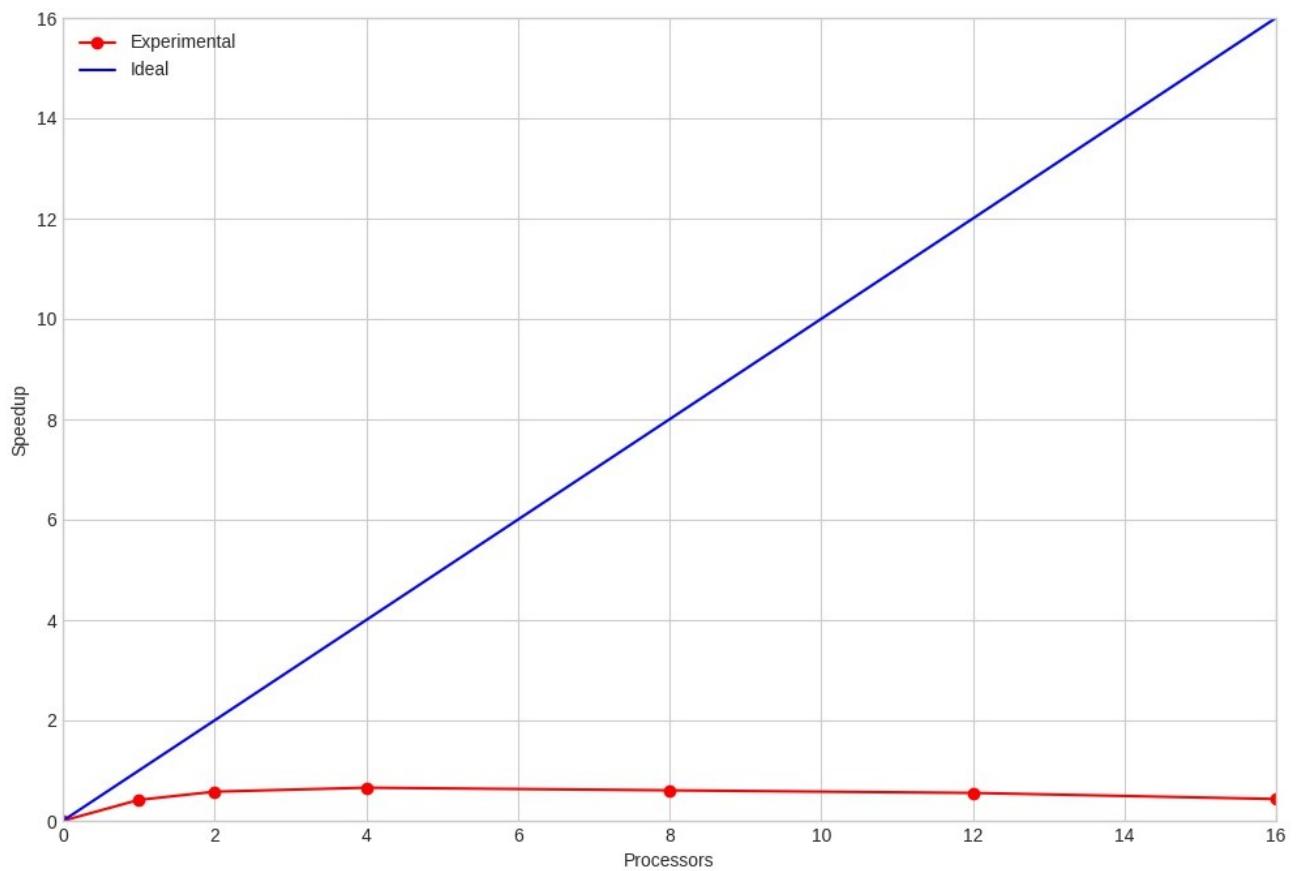
Size-1000000000-O0

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,918542	0,917769	0,935603	0,925869	1	1
Parallel	1	1,306083	1,300315	1,306324	1,302324	0,70327996	0,70327996
Parallel	2	0,747635	0,773116	0,766607	0,789582	1,228596842	0,614298421
Parallel	4	0,485791	0,493119	0,500469	0,479568	1,890817244	0,472704311
Parallel	8	0,424971	0,4208	0,423473	0,411355	2,161422779	0,270177847
Parallel	12	0,392186	0,388284	0,396527	0,401122	2,342108081	0,195175673
Parallel	16	0,502187	0,44368	0,461264	0,439418	1,829083588	0,114317724



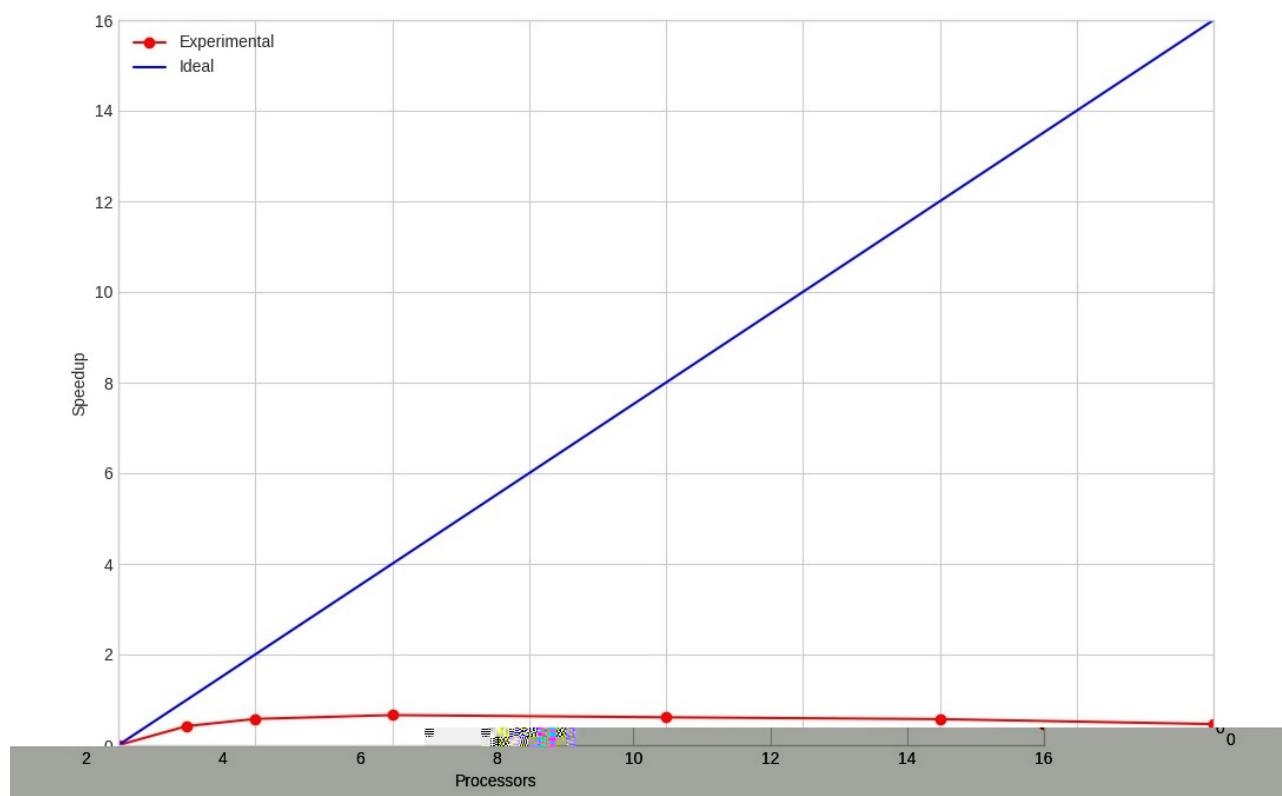
Size-1000000000-O1

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,174785	0,174084	0,176012	0,178627	1	1
Parallel	1	0,419071	0,414668	0,416938	0,413039	0,417077297	0,417077297
Parallel	2	0,300984	0,312053	0,304307	0,303917	0,580711932	0,290355966
Parallel	4	0,264727	0,283967	0,2536	0,266764	0,660246216	0,165061554
Parallel	8	0,287579	0,292376	0,295508	0,290328	0,607780818	0,075972602
Parallel	12	0,314373	0,320727	0,308519	0,316609	0,55597968	0,04633164
Parallel	16	0,402147	0,417957	0,359391	0,405355	0,434629625	0,027164352



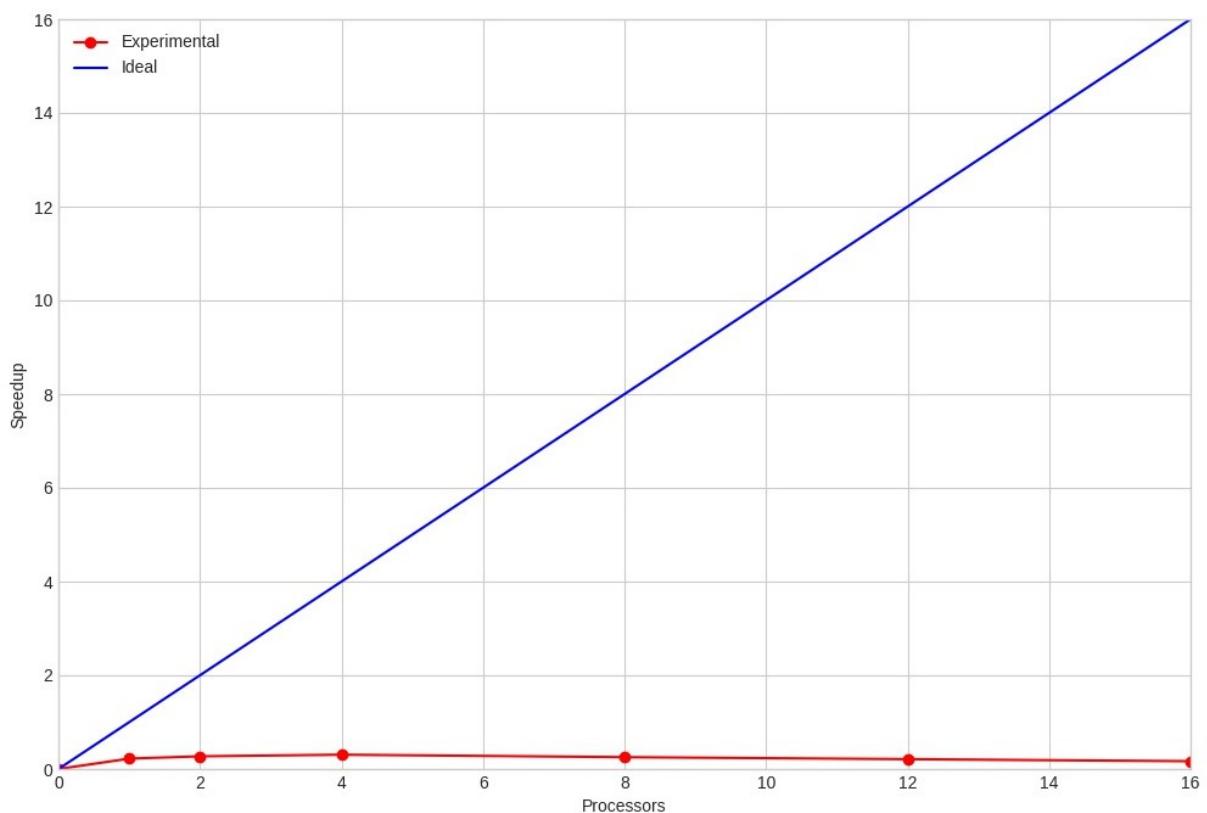
Size-100000000-O2

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,174056	0,174339	0,17293	0,173368	1	1
Parallel	1	0,413882	0,415016	0,4142 96	0,422272	0,420544 986	0,420544 986
Parallel	2	0,300676	0,303277	0,3129 36	0,296727	0,578882 252	0,289441 126
Parallel	4	0,26246	0,253582	0,25765 9	0,26072	0,6631 71531	0,165792 883
Parallel	8	0,283171	0,295651	0,30321 9	0,293487	0,614667 462	0,076833 433
Parallel	12	0,302837	0,305994	0,30854 3	0,313706	0,574751 434	0,047895 953
Parallel	16	0,374509	0,393844	0,43241 5	0,419819	0,464757 856	0,029047 366



Size-100000000-O3

Version	Threads	TimeInt	User	Sys	Real	Speedup	Efficiency
Serial	1	0,117184	0,114811	0,1153	0,119683	1	1
Parallel	1	0,400914	0,403984	0,3985 48	0,411892	0,292292 113	0,292292 113
Parallel	2	0,297856	0,298778	0,2972 03	0,296818	0,393425	0,196712 011 505
Parallel	4	0,259149	0,259582	0,25970 2	0,254682	0,4521 87738	0,113046 934
Parallel	8	0,306231	0,312811	0,29485 9	0,297555	0,382665 374	0,047833 172
Parallel	12	0,302776	0,309912	0,31341 7	0,312551	0,387031 997	0,032252 666
Parallel	16	0,350403	0,37206	0,37888 9	0,364267	0,334426 361	0,020901 648



Consideration

L'algoritmo di counting sort consiste in cinque fasi principali, utilizzando come algoritmo di esempio quello presente al seguente [link](#). Nella prima fase vengono determinati il massimo e il minimo dell'array da ordinare; nella seconda e terza fase viene costruito un array di supporto, inizializzato a zero, che conterrà il numero di occorrenze di ogni valore dell'array da ordinare. Nella quarta fase vengono contate le occorrenze di ogni elemento dell'array da ordinare e inserite nell'array di supporto. Infine, viene ordinato l'array in base al contenuto dell'array di supporto. La prima fase è stata parallelizzata attraverso la funzione Scatter, la quale permette di dividere i dati tra i processi, e la funzione AllReduce, che permette di combinare i dati inviati dai vari processi attraverso l'operazione che viene specificata come parametro della funzione (MPI_MAX, MPI_MIN) e distribuire il risultato della riduzione agli altri processi. Nella seconda, terza e quarta fase non si è ricorso all'uso di direttive MPI per il conteggio delle occorrenze su array locali. La quinta e ultima fase è stata divisa in ulteriori sette passi:

- nel primo passo l'utilizzo della funzione MPI_Scatter è servito per dividere il vettore delle occorrenze tra i processi;
- nel secondo passo ogni processo provvede a calcolare il numero di elementi di ciascun vettore;
- ogni processo si calcola il numero degli elementi relativi alla sua porzione (somma delle occorrenze parziali);
- ogni processo istanzia il suo sottovettore e lo riempie con i valori ordinati;
- Invio alla root il numero degli elementi per ogni thread in modo tale da calcolare il displacement;
- Calcolo il displacement;
- Utilizzo della direttiva MPI_Gatherv per inviare i sottoArray ordinati alla root, la quale provvederà al concatenamento.

In questo caso di studio sia il programma sequenziale che quello parallelo sono stati compilati con i livelli di ottimizzazione O_x con $x = 0,1,2,3$.

Dai grafici si evince che per piccole dimensioni del vettore (1'000, 10'000, 100'000) non si ha un grande aumento delle performance, che invece migliorano per dimensioni molto grandi del vettore (1'000'000, 10'000'000, 100'000'000), fino a raggiungere speedup pari a 2,72. Il motivo di tale comportamento è dovuto all'ultima fase dell'algoritmo, che effettua un pre-processing per la parallelizzazione e ciò comporta un aumento delle tempistiche, che tendono ad avvicinarsi a quelle della parte puramente sequenziale. Inoltre, possiamo notare che le performance non seguono la linea ideale, ma tendono a decrescere una volta raggiunto il limite fisico di thread del processore utilizzato.

Final Consideration

Come software è stato utilizzato Ubuntu 21.04 LTS su macchina virtuale. L'algoritmo di Counting Sort si è prestato abbastanza bene alla parallelizzazione, permettendo di ottenere un aumento delle prestazioni nel complesso abbastanza soddisfacente, eccetto in un caso particolare. Con il multithreading l'esecuzione di programmi paralleli su macchina virtuale è efficace senza che si notino degradi delle prestazioni, nonostante il fatto che la vCPU necessiti di un sovraccarico aggiuntivo durante l'esecuzione di un thread o di un processo. Infatti, abbiamo notato, come mostrato nella figura sottostante, che con l'utilizzo della macchina virtuale le prestazioni tendevano a diminuire in prossimità della metà dei threads a disposizione, per poi riprendere il normale andamento di discesa.



How to run

1. Crea una cartella chiama “ ” e lancia il comando “ ”:
`mkdir build`
`cd build`
`cmake ..`
2. È possibile utilizzare il comando “ ” per poter eseguire i vari test e per raccogliere le misurazioni
3. Per generare le varie misure (le misure descritte in questo documento sono già presenti all'interno della cartella “measure”) bisogna utilizzare il seguente comando

```
make generate_output
```

4. Per estrarre i tempi e per effettuare i grafici contenenti tutte le varie informazioni (tempo di esecuzione, speedup, ecc.) bisogna utilizzare il seguente comando

```
make extract_measures
```

I risultati possono essere trovati all'interno della cartella `measure/$TIMESTAMP`, divisi per dimensione (size) e per l'ottimizzazione gcc utilizzata.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.