

GPU を用いた天体物理シミュレーション

筑波大学 M1 田中賢

目的

近年の天体物理シミュレーションは大規模であり計算量の多い。このようなシミュレーションを高速に行う方法の一つとして GPU (Graphics Processing Units ; コンピュータで画像処理を行う部分) を用いることが注目されている。今回は GPU の性能評価と GPU を用いた数値計算の練習として重力 N 体シミュレーションを行った。

GPU とは

PC 上で画像処理を行う部分であり、高速に処理を行うために CPU に比べ多数のコア (ストリーミング・プロセッサ) を搭載している。CPU ではコアが数個であるのに対し、GPU では数百個もストリーミング・マルチプロセッサが用意されている。そのため 1 チップで多くの並列計算が可能であるため高速に計算ができる。画像処理以外にも使えるようにできる GPGPU (General-purpose computing on GPU) 環境が整っており比較的取り扱い易い。NVIDIA 社の GPGPU 環境の CUDA は非常に C 言語ライクな言語なのでそこまで複雑なことをしなくても扱うことができる。

最近の GPU の成果としては、2009 年に長崎大学の濱田剛氏らのグループが GPU クラスタにより、42.15Tflops (1 秒当たり 1 兆回の計算) の実効性能で N 体問題の計算をさせることができ、並列計算機で高評価を出せた研究に与えられるゴードンベル賞を受賞した。また、中国が GPU を用いた計算機 (Nebulae) を作成し、1.27Pflops (1 秒当たり 1000 兆回の計算) の実効性能を出すことに成功し、2010 年の 6 月現在のスーパーコンピュータの順位で 2 位に位置していたりする。

GPU の長所、短所

GPU は複数のコアがあるので大量に並列計算が可能になっている。多粒子の相互作用の計算など、同じことを計算する場合に適している。しかし、条件分岐が多数あるような計算では GPU による計算で性能を出すには工夫が必要である。このような計算は CPU の方が得意である。

また、GPU と CPU では必ずデータ通信を伴うので頻繁にデータ通信があるような計算では性能が落ちてしまう。

その他には、基本的に GPU はどの PC にも入っているため、対応さえしていれば使用することが可能。CPU に比べて演算当たりの価格が安価であるといったこともある。

GPUのメモリ構造

大きく分けてチップ上にあるオンチップメモリとチップ外にあるオフチップメモリが存在している。オンチップメモリはオフチップメモリに比べて非常に高速だが容量が小さい。オフチップメモリは低速だが容量が大きいという特徴がある。今回用いた CUDA の場合は指定しないと主にオフチップメモリしか使われないのでオンチップメモリを使う場合と使わない場合でどの程度の差が出るかも検証する。

重力多体計算

$$\frac{d^2 \vec{x}_i}{dt^2} = \sum_{j \neq i}^N G m_j \frac{\vec{x}_j - \vec{x}_i}{(|\vec{x}_j - \vec{x}_i|^2 + \varepsilon^2)^{3/2}}$$

ε : ソフトニング長

上記の計算を解く。初期条件はN個の粒子を球対称に一様分布させ、適当な速度分散を与えた。この計算でCPUとGPUによる計算性能の比較、GPUでのオンチップ（シェアード）、オフチップメモリによる速度の違いを確かめる。

粒子数のNは適宜変更していく。

使用 GPU、CPU

使用 GPU

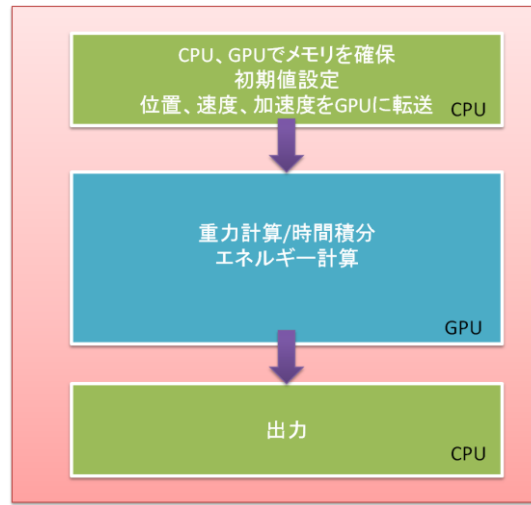
• NVIDIA 社製 Tesla C1060	
• ストリーミングプロセッサ数	240
• ストリーミングマルチプロセッサ数	30
• プロセッサコア周波数	1.296 GHz
• 単精度ピーク性能	933Gflops

使用 CPU

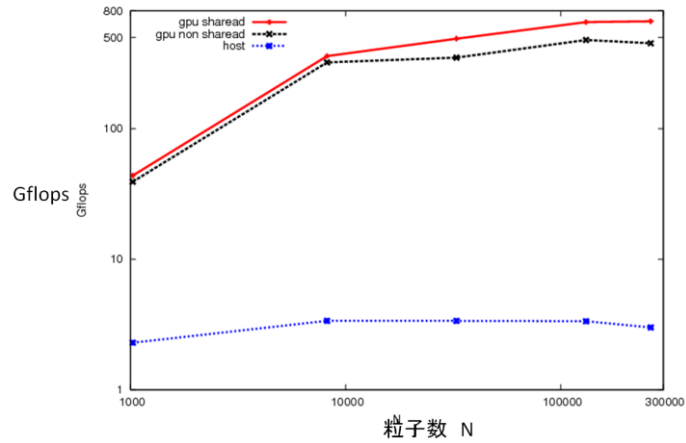
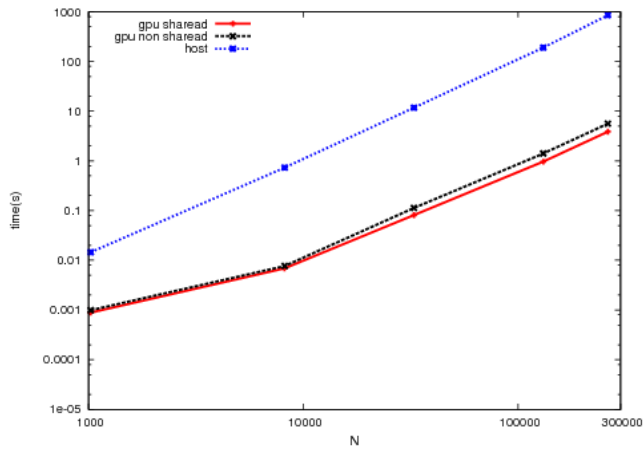
• Intel Xeon5550	
• コア数	4つあるうちの1つ
• コア周波数	2.66GHz
• 単精度ピーク性能	10.64Gflops

プログラムの流れ

初期値の設定 1 回しか無いのでわざわざ GPU に送らずに CPU で計算する。



計算結果 (上 : 計算時間、下 : Flops)



Flops とは 1 秒あたりに浮動小数点の演算が何回できるかという値。重力計算の場合は次のように計算できる。

$$(38 \times N \times N) / (\text{計算にかかった時間})$$

CPU での計算に比べて GPU での計算では 200 倍程度の高速化ができた。粒子数の多いところではオンチップメモリが大きく影響し、オンチップメモリを使わなかった場合に比べて 2 倍程度の差がでている。粒子数が 100000 程度になるまでは、GPU での並列計算をフルに使うことができているため性能があまり出ていない。逆に 100000 以上になると、ほとんど性能が上がることはない。

まとめ

- GPU を使い重力収縮計算ができた。
- GPU を使うことに CPU のみより 200 倍程度の高速化ができた。
- 粒子数が多い場合にはメモリを有効に使えばより高速化が可能。