3P120

電力制約下における並列 FMO プログラムの性能評価

（1;九州大学 2; JST/CREST[1]）○稲富雄一 [1,2],深沢圭一郎 [1,2],井上弘士 [1,2],青柳睦 [1]

Performance evaluation of parallel FMO program under power capping

(1; Kyushu Univ. 2; JST/CREST[1])

（はじめに）日本の最先端スーパーコンピュータ（スパコン）である京コンピュータ（2014 年 6 月現在、世界 4 位）は、10 ペタ FLOPS（1 秒間に 10^{16} 回の倍精度浮動小数演算）の演算を行うことができるが、その消費電力は約 12MW と非常に大きいものである[2]。米国 DARPA の報告書[3]では、安定供給、ならびに、経済的な理由などから、スパコン 1 台が利用可能な消費電力は 20MW 程度であるとされている。現在、日本も含めて各国が 1 エクサ FLOPS（1 秒間に 10^{18} 回演算）を目指したスパコン（エクサスパコン）開発に取り組んでいるが、それを実現するためには、京コンピュータの約 2 倍の消費電力で、100 倍の演算性能を達成する必要があり、計算機科学者や計算機ベンダーが消費電力あたりの演算性能向上に挑んでいる。

この電力の問題は、スパコン開発者だけでなく、将来のスパコンを用いた科学技術計算を目指している研究者も考慮すべき事柄である。現在は利用するプロセッサ数（×時間）が課金などを決める最大の要素になっているが、将来は、利用電力（×時間）がその決定要因になる可能性が高い。従って、アプリケーションプログラム（アプリ）の特性に合わせてコンピュータを構成する各要素（CPU、メモリ、演算加速器、ネットワークなど）に限られた電力をうまく配分することで、電力あたりの性能向上を最大化させること（電力性能最適化）が必要となる。そのためには、利用するアプリの利用電力特性などの情報を知る必要がある。今回はその第一段階として、並列 FMO プログラムの 1 つである OpenFMO の並列実行時の CPU とメモリ（DRAM）の電力特性を調べたので、その結果を報告する。

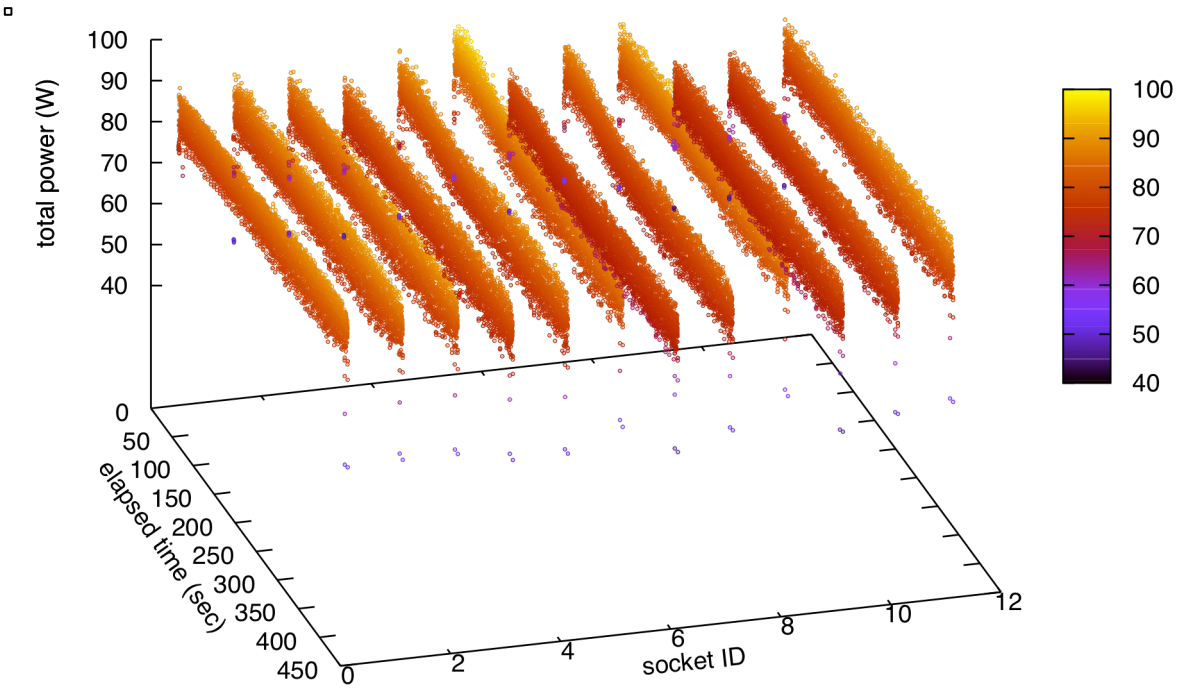

図 1: OpenFMO 並列実行時の各プロセス（ソケット）の消費電力変化

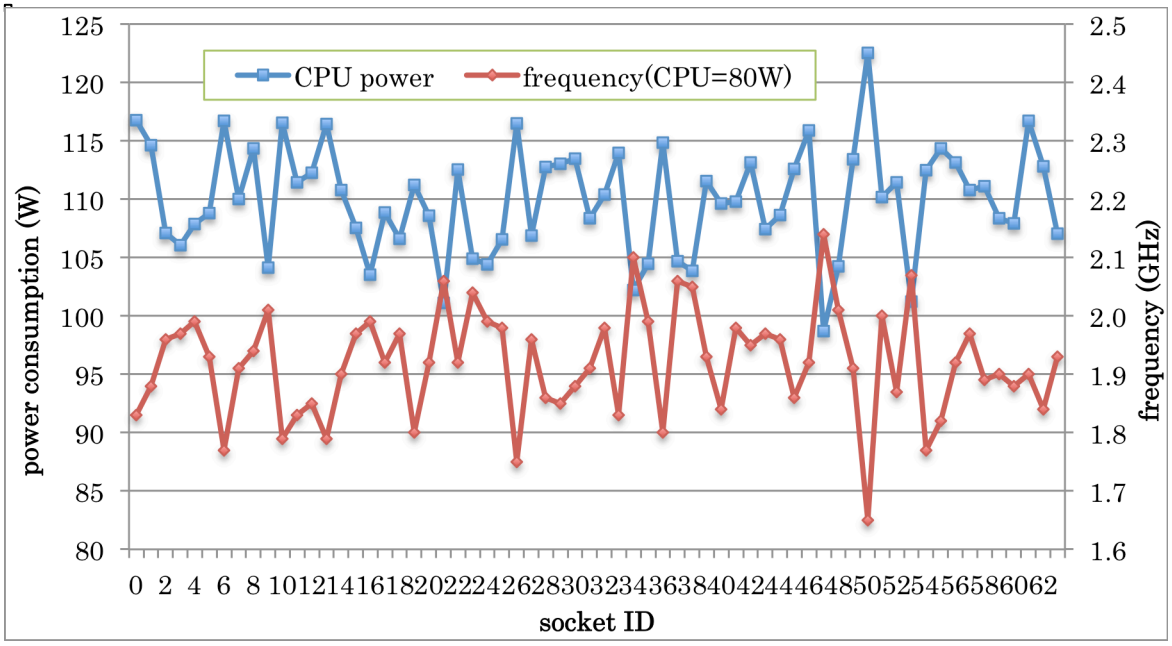

図 2: 各ソケットにおける DGEMM 実行時の平均消費電力（左軸）と CPU=80W 制約時の動作周波数（右軸）

（方法、結果、および、考察）電力測定などに用いた計算機は、九州大学情報基盤研究開発センターに設置されている日立 HA-8000（Xeon(12 コア, 2.7GHz)×2+DRAM 256GB/ノード）である。CPU と DRAM の消費電力の測定、ならびに、制御は、インテル社製プロセッサに搭載されている Running Average Power Limit(RAPL)インターフェイスを利用した。RAPL による電力の測定、ならびに制御は Model Specific Register (MSR)と呼ばれるレジスタを介して行われるが、それを簡単に利用するためのライブラリを作成して、そのコードを OpenFMO に組み込み、並列実行時の利用電力の変化を測定した。

その結果を図 1 に示す。この図は、CPU（ソケット）に割り当てられたプロセスの実行開始からの消費電力変化（CPU と DRAM の消費電力の合計値）を示したものである。これを見ると、実行開始から終了までの実行中に 70W～90W くらいの範囲で、消費電力が変化していることが分かる。これは、これまでの報告[4]で示したように、実行する部分（関数）毎に電力特性が異なるからである。また、同じベンダーの同一種類のプロセッサを用いて、ほとんど同じ計算内容のプログラムを実行しているにも関わらず、プロセス（ソケット）間で平均的な消費電力に違いがあることも分かった。実際にソケット間で電力消費の傾向に違うがあるかを確認するために、ベンチマークでよく用いられる行列-行列積関数（Level3 BLAS に含まれている DGEMM 関数）を全ソケットで実行して、その消費電力を調べた。その結果を図 2 に示す。横軸はソケット番号で青線は非電力制約時の CPU の平均消費電力（左軸）を、赤線は CPU 電力を 80W に制約した場合の CPU 動作周波数を示している。これを見ると、全く同じプログラムを実行しているにも関わらず、ソケット間で消費電力に大きなバラツキがあることが分かる。また、非制約時の消費電力が大きいほど、電力制約時の動作周波数が低くなる、すなわち、演算性能が悪くなることが明らかとなった。従って、電力制約下における並列実行を行う場合には、このソケット毎の電力特性の違いを考慮する必要がある。詳細については、当日議論する。

参考文献：[1] ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワークの開発　[2] Top 500: http://www.top500.org/　[3] Bergman, K., et al.: Exascale computing study: Technol- ogy challenges in achieving exascale systems, Defense Ad- vanced Research Projects Agency Information Processing Techniques Office (DARPA IPTO), Tech. Rep (2008)　[4]稲富など、「電力制約下での性能最適化に向けた SCF 計算の電力特性解析」、日本コンピュータ化学会 2014 秋季年会ポスター1P30