CPU Hotplug・DVFSが計算性能・消費電力へ与える影響の評価および考察

八神　貴心†　　中島　達夫†
早稲田大学理工学部 コンピュータ・ネットワーク工学科†

概要

多くのマルチコアプロセッサは，CPU HotplugとDVFSを提供している．この2つの機能は，「性能を犠牲にして消費電力を削減する」という考え方に基づいている点において類似しており，使い分けが重要である．本稿では，この使い分けについて，評価を通して検討する．評価結果および考察から導かれる結論として，少ない電力で高い性能を得るためには，CPU Hotplugを使うべきであることを述べる．

1　序論

プロセッサの消費電力が増加していることを背景に，マルチコアプロセッサを搭載したシステムが増加している．多くのマルチコアプロセッサは，消費電力を削減するための機能をいくつかもつ．それらの機能のうち一般的なものが，CPU Hotplug，およびDVFSである．CPU Hotplugは，動的に動作コア数を変更する機能である．例えば，4つのコアをもつシステムであれば，この機能によって，動的に動作コア数を2つにすることができる．このようにして動作コア数を減らすことで，消費電力，特にリーク電力（コアがスリープしていても発生する電力）の削減が可能になる．また，DVFSは，動的に動作周波数と動作電圧を変更する機能である．例えば，動作周波数が600MHz，CPUチップ供給電圧が1.4Vのシステムであれば，この機能によって，動的に動作周波数を300MHz，供給電圧を1.2Vにすることができる．このようにして動作周波数と動作電圧を減らすことで，消費電力の削減が可能になる．これら2つの機能は，「性能を犠牲にして消費電力を削減する」という考え方に基づいている点において，類似している．

ここで問題となるのが，これら2つの機能をどのように使い分けるべきかである．多くのマルチコアプロセッサは両方の機能を実装しているため，「どのような状況でどちらの機能を使うべきか」を，明らかにする必要がある．特に，アプリケーションにCPU資源を割り当てるモジュール，例えばOSのスケジューラにとっては，両機能を活用し，資源を効率的に割り当てることが重要になる．

そこで本稿では，この問題について，実機を用いた評価を通して検討する．評価には，3種類の処理を用い，その性能と消費電力を測定する．評価結果に対し考察を加えた後，最後に，「少ない電力で，高い性能を得るためには，周波数と動作電圧は増加させず，コア数のみを増加させるべきである」と結論付ける．

2　評価

評価項目それぞれについて，動的なコア数の変更，および動的な周波数と電圧の変更に対する，性能と消費電力の変化を測定した．

2.1　評価項目

評価項目は，2つの単純な処理と，1つの複雑な処理から構成する．単純な処理として，整数演算処理とメモリ読み込み処理を用いる．また，複雑な処理として，動画デコーディング処理を用いる．

2.2　評価環境

表1に評価環境を示す．

	仕様
CPU	Intel Core i7 965 (3.20GHz x 4 コア)
RAM	3GB
OS	Linux 2.6.29
温度	室温

表1: 評価環境

なお，電力は，CPUに電源を提供している電源ラインの電流を，電流プローブを使って測定した．また，Intel Core i7のもつSMT機能は，多くのCPUがもつ機能ではないため，使用していない．

2.3　評価結果

a) 整数演算性能

動作しているコア数だけDhrystone2.1ベンチマーク[1]を起動させ，MIPS値と消費電力を測定した．測定

An Influence of CPU Hotplug and DVFS on the Computational Performance and Power Consumption
†Kishin YAGAMI　†Tatsuo NAKAJIMA
†Department of Computer Science, Waseda University

	1コア		2コア		4コア	
	1.6 GHz	3.2 GHz	1.6	3.2	1.6	3.2
性能 [DMIPS]	2173	4161	4164	8340	8225	14106
消費電力 [W]	14.1	37.8	19.9	54.3	30.8	67.4

表 2: 整数演算処理時の性能と消費電力

結果を表2に示す．1コア1.6GHzの場合を基準にして考えると，コア数を2倍にした場合（2コア1.6GHz），性能は1.9倍，消費電力は1.4倍である．同様に，周波数を2倍にした場合（1コア3.2GHz），性能は1.9倍，消費電力は2.6倍である．

b) メモリ読み込み性能

	1コア		2コア		4コア	
	1.6 GHz	3.2 GHz	1.6	3.2	1.6	3.2
性能 [GB/s]	10.1	12.8	15.6	17.1	20.2	21.6
消費電力 [W]	11.1	27.6	15.0	32.8	19.1	42.0

表 3: メモリ読み込み処理時の性能と消費電力

動作しているコア数だけLMbench[2]のbw_memプロセスを起動させ，メモリから100MBのデータを読み込むときのバンド幅と消費電力を測定した．測定結果を表3に示す．1コア1.6GHzの場合を基準にして考えると，コア数を2倍にした場合（2コア1.6GHz），性能は1.5倍，消費電力は1.4倍である．同様に，周波数を2倍にした場合（1コア3.2GHz），性能は1.3倍，消費電力は2.5倍である．

また，周波数を2倍にした場合の消費電力の変化は，性能の変化に比べて非常に大きい．これは，メモリから巨大なデータを読み込む場合，CPUがほとんどの時間をストール状態で過ごしてしまうことが原因である．周波数を増やしても，CPUがほとんどの時間をストールしている，という状況は変わらないため，性能は伸びず，消費電力だけが伸びてしまうのだ．

c) 動画デコーディング性能

	1コア		2コア		4コア	
	1.6 GHz	3.2 GHz	1.6	3.2	1.6	3.2
性能 [s]	31.5	16.0	17.6	9.81	9.69	6.06
消費電力 [W]	13.7	42.0	19.6	48.6	27.3	55.8

表 4: 動画デコーディング処理時の性能と消費電力

動作しているコア数だけ並列デコーディングスレッドを生成し，デコーディングにかかった合計時間と，デコーディング時の消費電力を測定した．デコーディングにはmplayer（マルチスレッディング対応版，ベンチマークモード）[3]，動画のコーデックにはH.264 (解像度1440x1080，25.0 fps，25,000 kbps，長さ30(s)) を用いた．測定結果を表4に示す．1コア1.6GHzの場合を基準にして考えると，コア数を2倍にした場合（2コア1.6GHz），性能は1.8倍，消費電力は1.4倍である．同様に，周波数を2倍にした場合（1コア3.2GHz），性能は2.0倍，消費電力は3.1倍である．

3 考察

評価結果から，評価に使用した処理においては，周波数を増加させるより，コア数を増加させる方が，消費電力の点で効率的であることがいえる．この結果は，プロセッサの消費電力を算出する次式から説明できる．

$$P = C_L \times {V_{dd}}^2 \times f \quad (1)$$

式1は，プロセッサの消費電力を示す．C_Lは負荷容量，V_{dd}は供給電圧，そしてfは動作周波数である．まず，DVFSによる供給電圧と動作周波数の変更は，式1のV_{dd}とfに影響を与える．そのため，DVFSの消費電力への影響は，コア数を変更する場合より大きい．例えば，DVFSによって，動作周波数を300MHzから600MHz，動作電圧を1.2Vから1.4Vに変更した場合，消費電力は2.7倍になる．これに対して，CPU Hotplugは式1への影響が少ない．例えば，CPU Hotplugによって，動作コア数を1コアから2コアに変更した場合，消費電力は2倍になるだけである．よって，一般的に，周波数を増加させるより，コア数を増加させる方が，消費電力の点から効率的である，といえる．このように，式1は上記の結果を説明することができる．そして，評価に使用した処理，つまりコア数の増加に対して性能が伸びやすい処理においては，「少ない電力で，高い性能を得るためには，周波数と動作電圧は増加させず，コア数のみを増加させるべきである」といえる．

4 結論

本稿では，CPU HotplugとDVFSの使い分けについて，評価を通して検討した．評価結果および考察をもとに，CPU Hotplugでコア数を増加させる方が，DVFSで周波数と動作電圧を増加させるより，消費電力の点で効率的であることを述べた．

参考文献

[1] Reinhold P. Weicker. Dhrystone: a synthetic systems programming benchmark, 1984.

[2] Larry McVoy and Carl Staelin. lmbench: portable tools for performance analysis, 1996.

[3] MPlayer. http://www.mplayerhq.hu/design7/news.html.