

組合せ最適化問題に基づいた 低消費電力タスク・スケジューリング・アルゴリズム

畠山 弘樹[†] 朝倉 宏一[‡]

大同大学大学院情報学研究科情報学専攻[†] 大同大学情報学部情報システム学科[‡]

1. はじめに

近年、プロセッサの性能向上による消費電力の増加が問題となっている。そのため消費電力を削減する様々な手法が考えられている。その中でもプロセッサの動作周波数を低下させることで消費電力を削減する DVFS (Dynamic Voltage Frequency Scaling) という技術を使用したタスク・スケジューリング手法が提案されている [1,2]。本稿では低消費電力タスク・スケジューリングをタスクに動作周波数を割り当てる組合せ最適化問題としてとらえ、タスクグラフを複数のタスク群に分割し、各タスク群に分枝限定法を適用することで最適解を計算する手法を提案する。タスクグラフを ETF など一般的なスケジューリング・アルゴリズムでスケジューリングした結果に DVFS を適用した場合の最適解を計算することを目的とする。

2. 前提

DVFS とはプロセッサの動作周波数と動作電圧の組で表される P-State を、プロセッサの動作中に動的に変更することで消費電力を削減する技術である [3]。本稿では AMD 社製の Athlon64 3000+ プロセッサを使用する。このプロセッサには P-State が 3 段階用意されている。P-State を変更させることで、プロセッサの動作周波数を 1/2 まで低下させ、消費電力を 1/4 まで削減することができる。図 1 に例を示す。グラフの横軸が実行時間、縦軸が消費電力を表している。(b) では (a) よりもプロセッサの実行速度が 1/2 となり実行時間が 2 倍になるが、消費電力は 1/4 である。したがってハッチ部分の面積、すなわち消費電力量を比較すると (b) の方が少なくなる。したがって終了時間に余裕がある場合、DVFS により (b) の状態でプロセッサを動作させた方が効率が良い。DVFS を用いた低消費電力タスク・スケジューリングは、各タスクの終了時間を考え、P-State の変更が可能なタスクを抽出することで消費電力量を削減する。

3. アプローチ

上で述べたように、プログラム全体の実行時間を増加させないよう各タスクに P-State を割り当て、消費電力を削減するのが、低消費電力タスク・スケジューリングの目的である。タスク数

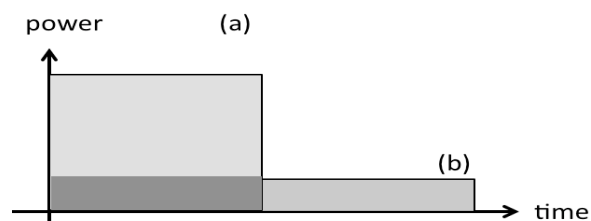


Fig.1 Power Consumption and execution time

を n 、P-State の数を P とするとこの解空間は P^n となり、タスク数が増加すると最適解を求めることが困難である。本稿ではこの問題を各タスクに最適な P-State を割り当てる組合せ最適化問題と考える。組合せ最適化問題とは、膨大な計算量を持つ問題を削減するか、または条件を満たす別問題を解くことで最良解を求める問題である [4]。特にこの問題では、あるタスクに DVFS を適用すると他の多くのタスクにその影響を及ぼすので、一般的な組合せ最適化問題の解法を適用することが難しい。

本稿では膨大な計算量を削減するためタスクグラフを幾つかのタスク群に分割し、分割したタスク群に対して組合せ最適化問題の基本戦略の一つである分枝限定法を適用するアプローチを採用する。分枝限定法とは、その問題の下界値や上界値を分枝条件として設定し、その条件に合わないパターンは除外することで計算量を削減する手法である [5]。本アプローチでは、P-State を適用したときにプログラム全体の処理時間が増加した場合パターンを除外するという分枝条件を用いる。

タスクグラフをいくつかのタスク群に分割し、計算することで計算量の削減が期待できるが、タスク群の生成には注意が必要である。あるタスク群への DVFS の適用が他のタスク群に影響を与えないようなタスク分割が理想だが、現実的には難しい。あるタスクに P-State を適用したことで実行時間が延び、他のタスクの実行開始時間が遅くなったとする。このとき開始時間が遅くなったタスクに適用できる P-State が、開始時間が遅くなる前と同様であるとき、これらのタスクは関連はしているが DVFS 適用による影響が少なく別のタスク群として独立に対処できると考えられる。逆に処理待ち時間を共有する

接続タスク群[1,2]は DVFS 適用の影響を大きく及ぼしあう。図 2 に接続タスク群の例を示す。図中のタスク n_3 、 n_7 は処理待ち時間を持たない。すなわち実行開始時間を移動させることができないとする。このとき、接続タスク群 A のタスク n_1 、 n_2 はタスク n_2 、 n_3 間に存在する処理待ち時間を共有する。また、接続タスク群 B でも同様にタスク n_5 、 n_6 間、 n_6 、 n_7 間の処理待ち時間を共有する。接続タスク群では処理待ち時間を共有しているため、接続タスク群に属しているいずれかのタスクに DVFS を適用したとき、共有している処理待ち時間が減少するため、影響が大きいと考える。

4. アルゴリズム

以上の問題点を考慮した低消費電力スケジューリング・アルゴリズムを以下に述べる。個々のタスクに対して DVFS を適用したとき、他タスクの P-State が変化した場合や、接続タスク群として成立している場合、これらをタスク群として関連付けする。この関連付けを全タスクで行うことで、いくつかの分割タスク群と、どのタスクとも関連付けされなかった未分割タスク群を抽出する。また、各分割タスク群に対して再度、DVFS を適用した場合の P-State を計算し、同様の操作を行う。このとき、他の分割タスク群に属しているタスクが候補として発生した場合、その分割タスク群と結合を行う。最後に未分割タスク群に対して未分割タスク群に属している中で通信が発生しているタスクをタスク群とし、DVFS を適用した場合の P-State を計算し候補が発生した場合、関連付けし、他の分割タスク群に属している場合は結合する。最終的に関連付けされなかったタスクを全て、タスク群として分割タスク群の一つにする。以上の操作により複数の分割タスク群に分割し、分枝限定法を適用することで解の抽出を行う。

5. 評価実験

本実験では分枝限定法を用いて提案手法の性能評価を行う。シミュレーションには AMD Athlon64 3000+プロセッサが 8 個搭載されたサーバ計算機を想定する。スケジューリング対象として STG (Standard Task Graph set)[6]から分枝限定法で計算可能なタスク数 20 のタスクグラフ 180 種類を作成して使用する。STG では通信コストは設定されていないため CCR (Communication to Computation Ratio)[7]の 0.1 を使用する。CCR は通信処理の目安であり 0.1 では通信が少ない環境と定義されている。以上のシミュレーション環境を Intel Xeon E5430 2.5GHz、メモリ 8GB の Linux ワークステーション

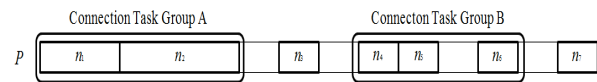


Fig.2 Connection Task Group

Tabel 1 Experimental results

	計算速度[sec]	消費電力量[W*utl]
分枝限定法	32835.38	728656
提案手法	235.07	728656

ョン上に構築した。

タスク分割を行わずに分枝限定法を用いる場合と、提案手法を用いた場合で、その計算時間と解として得られた最小消費電力量を比較する。シミュレーションの結果を表 1 に示す。実験結果より、分枝限定法と提案手法で得られた最小消費電力量が一致していることが分かる。タスク分割を行わない分枝限定法では最適解が計算できるので、提案手法でも最適解が抽出できていることが分かる。また、提案手法の計算時間は約 1%となっている。すべてのタスクを分枝限定法で解くのではなく、複数のタスク群に分割したことで処理速度が向上したとことが分かる。

6. おわりに

DVFS 適用による最適解抽出アルゴリズムについて述べた。評価実験の結果、提案手法でも最適解が抽出でき、処理速度の向上を確認することができた。今後の課題として、分割タスク群のタスク数が 20 を超えると計算に膨大な時間がかかるため、より大きいタスク数のタスクグラフでの計算方法を考案する必要がある。

参考文献

1. 森裕一郎,朝倉宏一,渡邊豊英:”タスク割当てアルゴリズムにおける消費電力削減のための DVS適用タスク選択機構”,第 8 回情報科学技術フォーラム FIT2009,Vol.1,pp.157-164 (2009).
2. 森裕一郎,朝倉宏一,渡邊豊英:”マルチ・プロセッサ環境におけるDVSを用いた消費電力削減アルゴリズムの構築”,電気学会論文誌C, Vol.131,No.4,pp926-933 (2011).
3. Hisa Ando:”プロセッサを支える技術 -果てしなくスピードを追求する世界”,株式会社技術評論社 (2011).
4. 今野治,鈴木久敏:”整数計画法と組合せ最適化”,日科技連出版社 (1982).
5. 柳浦睦憲,茨木俊秀:”組合せ最適化 -メタ戦略を中心として-”,朝倉書店 (2001).
6. T.Tobita and H.Kasahara:”Performance Evaluation of Minimum Execution Time Multiprocessor Scheduling Algorithms Using Standard Task Graph Set”,Proc.of 2000 Int'l. Cong. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA),pp745-751 (2000).
7. O.Sinnen:”Task Scheduling for Parallel Systems”,Wiley-Interscience (2007).