

4T-7

OSCAR上での電力潮流計算の並列処理

中野恵一、佐藤東哉、笠原博徳、成田誠之助

早稲田大学 理工学部 電気工学科

1. はじめに

電力系統の大規模化や系統計画・運用の高度化に伴う、大規模な潮流計算を高速・低コストで行いたいという要求に答えるため、最近ではマルチプロセッサによる並列求解が注目されている。本稿では、スパース連立一次方程式の求解を伴うNewton-Raphson法を用いた電力潮流計算の並列処理手法を、汎用マルチプロセッサ・システムOSCAR [1][2]上でインプリメントした場合の処理性能について述べる。本手法ではスタティック・マルチプロセッサ・スケジューリング・アルゴリズム [4]を用いることにより、最少数のプロセッサで最小の処理時間を得ることを可能とする。

2. 電力潮流計算

電力潮流計算とは、ノード電圧に関する非線形連立方程式である電力方程式 [3]を数値的に解くことである。この連立非線形方程式は、Newton-Raphson法を用いると、次のスパースな連立一次方程式のヤコビアン行列の要素計算、方程式の求解および解の修正等の手順を、収束判定条件を満たすまで繰り返すことにより解ける。

$$\dot{W}_k = \sum_{l=1}^n \dot{V}_k \dot{Y}_{kl} \dot{V}_l \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

3. 並列処理手法

本手法はタスク（プロセッサへの基本割当単位）生成部、タスク・スケジューリング部、およびマシンコード生成部から構成される。ホストコンピュータ上で生成されたコードは、各プロセッサ上のローカル・プログラムメモリにダウンロードされ、並列に実行される。

3.1 タスク生成

タスク生成においては、タスク・サイズの決定が重要なポイントとなる。潮流計算並列処理では、1回の算術演算（加減乗除等）、行列の各要素当りの計算（ヤコビアン行列要素の計算、各要素のLU分解などの計算）、行または列当りの計算をまとめたもの、従来のブロックレベル（部分行列）の計算、を単位とする分割が考えられる。本稿では例として要素レベルのタスク・サイズを使用する場合について述べるが、他のサイズについても同様に適用できる。

このサイズで潮流計算の過程を分割し、タスク集合を生成する。このタスク間には、データ依存による実行順序関係の制約（先行制約）が生じる。これらの先行制約はタスク・グラフと呼ぶ無サイクル有向グラフで表現できる。

3.2 タスク・スケジューリング

タスク・グラフ表示されたタスク集合のプロセッサへの最適割当ておよび実行順序決定問題は、実行終了時間最小マルチプロセッサ・スケジューリング問題と定義される。この問題は、20年近くわたる活発な研究にもかかわらず効率よいアルゴリズムは開発できず、最近では実用的なアルゴリズムの開発と実マルチプロセッサ上への適用はほとんどあきらめられていた。これに対して筆者等は、ヒューリスティック・アルゴリズムCP/MISF法と、実用的な最適スケジューリング・アルゴリズムDF/IHS法をすでに開発して

いる [4]。さらに、これらを用いて種々のアプリケーションの並列処理を実マルチプロセッサ上で実現できることを初めて示した [2][5]。これらのアルゴリズムにより、大規模電力系統の潮流計算も並列処理することが可能である。

3.3 マシンコード生成

次にタスク・スケジューリングの結果に基づき、使用するマルチプロセッサ・システム中の各プロセッサ上で実行されるマシンコードを生成する。この際スケジューリング結果を使用し、同期オーバーヘッドの最小化、各プロセッサ内レジスタ利用の最適化を行なうことができる [5]。

4. OSCAR上での並列処理

本手法をOSCARの1クラスタ [1][2]上で実行し、その有効性を評価した結果について述べる。OSCARの1クラスタは、16台のプロセッサ・エレメント（PE）を3本のバスで結合した構造となっており、各PEは64個の汎用レジスタを持つ32bitRISCライク・プロセッサ、PE間データ転送用2ポートメモリ、ローカル・データメモリ、2バンクのインストラクションメモリ等から構成される。

このシステム上で、例えばIEEE14母線系統潮流計算の場合、1台で約37.2 [ms]かかる4回のNewton-Raphson反復計算を伴う計算が、プロセッサ6台で約9.00 [ms]に短縮できるというように本手法を用いることにより、効率よい並列処理が実現できることが確かめられた。

5. おわりに

本稿では電力潮流計算の並列処理手法をOSCAR上でインプリメントした場合の性能について述べた。ただし今回の処理時間はハードウェアのデバッグ中のためデータ転送速度を通常の半分程度に抑えたもので、通常動作状態ではオーバーヘッドがさらに小さくなると考えられる。今後OSCAR上でさらに大規模な系統の潮流計算を行なうとともに、過渡安定度の並列処理を行なっていく予定である。

参考文献

- [1] 笠原, 成田, 橋本, "OSCAR (Optimally Scheduled Advanced Multiprocessor) のアーキテクチャ", 信学論(D), Vol. J71-D, No. 8, pp. 1440-1445
- [2] H. Kasahara, T. Fujii, H. Nakayama, S. Narita and L. Chua : "A Parallel Processing Scheme for the Solution of Sparse Linear Equations Using Static Optimal Multiprocessor Scheduling Algorithms", Proc. 2nd Inter-national Conf. on Supercomputing, vol. 2, 433/442 (May 1987)
- [3] 高橋: 「電力システム工学」, コロナ社 (昭52)
- [4] H. Kasahara and S. Narita : "Practical Multiprocessor Scheduling Algorithms for Efficient Parallel Processing", IEEE Trans. Comput., c-33, 1023/1029 (Nov. 1984)
- [5] 笠原, 藤井, 本多, 成田, "スタティック・マルチプロセッサ・スケジューリング・アルゴリズムを用いた常微分方程式求解の並列処理", 情処論文誌, 28-10, Oct. 1987

Parallel Processing of Load-flow Calculation on OSCAR

Keiichi NAKANO, Haruya SATO, Hironori KASAHARA, Seinosuke NARITA

WASEDA University