電力過渡安定度計算の並列同時解法における系統分割の適用

3G－3

冠谷　大，高田　勝久，古屋　穂高，宮本　和則，前川　仁孝，伊與田　光宏
千葉工業大学

1　はじめに

近年の電力需要の増大は、電力系統の大規模化・複雑化を進めている。それに伴い、系統の運用・計画のために不可欠である電力系統解析計算の高速化が求められている。電力過渡安定度計算は、中でも特に動的な安定度を計算するものであり、リアルタイム計算負荷が非常に大きく、高速化するための研究が行われている[1]。

今日までに行われている高速化の研究として、並列同時解法による行列の分割による高速化手法や、系統分割を用いた高速化手法などがあるが、並列同時解法では均等なタスク分割が困難[2]という点や、系統分割では並列処理できない部分がある[1]などの問題点があった。

そこで、本稿ではこれらの問題点を解決するために並列同時解法に系統分割を適用し、並列性を高めて効率化を図る手法を提案し、提案手法の有効性を評価する。

2　過渡安定度計算手法

一般的に、過渡安定度計算における基本的な方程式は、Xを発電機の状態ベクトル、Vをノード電圧ベクトル、Iをノードへの注入電流ベクトル、Yをノードアドミタンス行列とすると、(1)式で表されるような発電機の内部状態を表す非線形微分方程式と、(2)式で表されるような送電網により結合された発電機群の電圧・電流の関係を表す線形代数方程式で表すことができる[3]。

$$dx/dt=f(X,V) \qquad (1)$$

$$I(X,V)=YV \qquad (2)$$

同時解法において(1),(2)式をNewton-Raphson法によって解く場合、(1)式を台形公式やトラペゾイダル法などの数値積分法を用いて代数方程式化し、(3)式のような式を繰り返し解くことによって解を求めることができる。

$$J\begin{bmatrix}\Delta X^{(k)}\\ \Delta V^{(k)}\end{bmatrix} = -\begin{bmatrix}f(X,V)^{(k)}\\ I(X,V)^{(k)}\end{bmatrix} \qquad (3)$$

J : Jacobian行列

2．1　並列同時解法を用いた過渡安定度計算手法

本節では、同時解法を小行列ごとに処理する高速化手法である、並列同時解法について述べる。

並列同時解法においては、(3)式のJacobian行列は次のように分割される。

$$\begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \qquad \begin{aligned} J1&=\partial f/\partial X\\ J2&=\partial f/\partial V\\ J3&=\partial I/\partial X\\ J4&=\partial I/\partial V \end{aligned}$$

図１．Jacobian行列

並列同時解法ではこのJacobian行列について、J2, J3部分の修正方程式の求解に対して1ステップ前の修正量を利用し定数化を行うことにより、J1, J4の小行列に分割し修正方程式の求解を行う。

$$\begin{aligned} \boxed{J1}\,[\Delta Xi^{(k)}] &= -f(X,V)^{(k)} - \boxed{J2}\,[\Delta Vi^{(k-1)}] \\ \boxed{J4}\,[\Delta Vi^{(k)}] &= -I(X,V)^{(k)} - \boxed{J3}\,[\Delta Xi^{(k-1)}] \end{aligned} \qquad (4)$$

またJ1は、完全なブロック対角行列なので、同様に小行列に分割し処理を行うことが可能である。

このように計算する行列サイズを小さくすることにより、処理の高速化を可能としている[2]。

一般に分割したJ1の各部分行列に対し、J4部分の修正量の求解の方が多くの計算時間を要す[2]のだが、本手法では系統方程式部分の並列化ができないという問題点がある。

2．2　系統分割を用いた過渡安定度計算手法

本節では、行列のリオーダリングにより並列性を抽出し、並列処理することで高速化を図る手法である系統分割について述べる。

求解に必要な連立方程式を生成する際にその与えられた系統の分割点を決定し、分割点ノードに対応する要素を縁側に配置することで、図2のような縁付き対角ブロック行列を生成する。

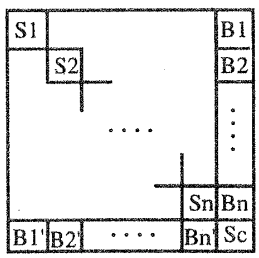

図2．縁付き対角ブロック行列

Transient Power System Stability Calculation Method by the combination of Parallel Simultaneous Method and System Division Method

Dai KAMURIYA, Kathuhisa TAKADA, Hodaka FURUYA, Kazunori MIYAMOTO, Yoshitaka MAEKAWA, Mithuhiro IYODA

Chiba Institute of Technology

このような行列をLU分解を利用して解を求める場合に、各 Sk , Bk, Bk' （k=1,2,・・・・,n） において並列にLU分解・前進代入・後退代入が可能である。

このように、粗粒度レベルの並列性を抽出する事が可能であり、並列処理することにより高速化することを可能としている。

しかし、 Sc の部分行列は並列に解くことができないため、粗粒度レベルでは並列性が低下する[1]という問題点がある。

3　並列同時解法における系統分割の適用

本節では、提案する手法である系統分割の並列同時解法への適用手法について述べる。

従来の並列同時解法では、小行列に分割して計算することにより、処理の高速化を行ってきたが、並列処理をする際に動揺方程式部分と系統方程式部分において、プロセッサに均等に処理を分割することが困難であった。

そこで、本稿ではタスク分割が効率的に行える様にするために、系統分割を並列同時解法に適用することで、プロセッサのタスクを均一にし、高い並列効果を得ることが可能となる手法を提案する。

Newton-Raphson 法で (1), (2) 式を解く場合に生成されるJacobian 行列を系統分割を適用しリオーダリングし、図2のような縁付き対角ブロック行列を生成する。このとき、行列の縁側に配置された部分行列の修正方程式に対し、並列同時解法と同様に1ステップ前の修正量を用いることによって定数化を行う。

$$\boxed{Sn}\begin{bmatrix}\Delta Xi\\ \Delta Vi\end{bmatrix}^{(k)} = -\begin{bmatrix}f(Xi,Vi)\\ I(Xi,Vi)\end{bmatrix}^{(k)} - \boxed{Bk}\begin{bmatrix}\Delta Vi\end{bmatrix}^{(k-1)}$$

(n=1,2,3,・・・・・,n)

$$\boxed{Sc}\begin{bmatrix}\Delta Vi\end{bmatrix}^{(k)} = -\begin{bmatrix}I(Xi,Vi)\end{bmatrix}^{(k)} - \boxed{B1' \mid B2' \mid \cdots\cdots \mid Bn'}\begin{bmatrix}\Delta Vi\end{bmatrix}^{(k-1)} \tag{5}$$

このように縁側部分行列に対して定数化することにより、系統分割により分割された各系統ごとに修正量の計算が可能になり、粗粒度並列性を抽出することが可能になる。

これにより、小行列化による高速化と均一なタスク分割が可能となる。

提案手法では、並列同時解法と同様にJacobian行列の一部に対して1ステップ前の修正量を利用し定数化を行い粗粒度並列性を抽出しているために、出力される解の誤差が問題になる。

しかし、系統分割を用いてリオーダリングする事により、比較的変化の少ない系統方程式の計算部分を定数化し、また従来の並列同時解法よりも定数化する部分を少なくすることが可能であるため、精度の向上を図ることが可能であると考えられる。

4　性能評価

本節では、提案手法の有効性を評価するために、3機9母線[3]の系統についての電力過渡安定度計算を例に評価を行う。

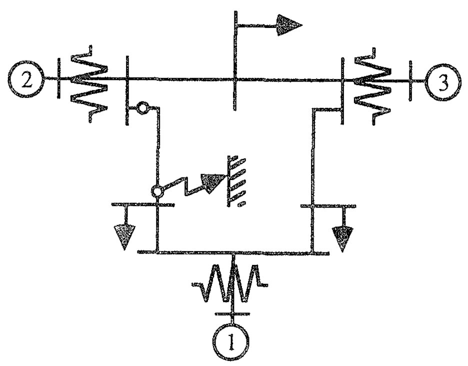

図3．3機9母線系統図

精度の比較を行う対象として、高精度の計算手法である同時解法を用い、その解を基準として解の精度を求め従来手法と精度の比較を行うことで、提案手法の有効性の評価を行う。

5　おわりに

本稿では、並列同時解法に系統分割を適用し、タスクの分割が均等に行え、高い並列効果を得ることの可能な過渡安定度計算手法を提案した。

今後は、提案手法について実際に並列処理を行い、並列効果についての有効性の評価を行っていく予定である。

参考文献

[1].西川 他："電力系統過渡安定度計算の階層的並列処理手法",情報処理学会第52回全国大会講演論文集, PP 6-137～6-138,1996

[2].多田 他："並列同時解法による過渡安定度計算法", 電気学会全国大会,PP 129～137,1985

[3].関根："電力系統過渡解析論",オーム社,1984