

ALGORITMO *BRANCH-AND-BOUND* PARA ENUMERAÇÃO DE CRITICALIDADES DE MEDIDAS DESTINADAS À ESTIMAÇÃO DE ESTADO

Andre Abel Augusto

Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, Sala 404
abel@ic.uff.br

Milton Brown do Coutto Filho

Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, Bloco E, Sala 350
mbrown@ic.uff.br

Julio Cesar Stacchini de Souza

Instituto de Computação, Dept. de Engenharia Elétrica – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, Sala 420
julio@ic.uff.br

RESUMO

Este trabalho propõe um método exaustivo de enumeração das condições críticas de observação estabelecidas em um sistema de medição, destinado à supervisão de redes elétricas de potência que utiliza a função Estimação de Estado (EE). Tal função tem por principal objetivo fornecer estimativas confiáveis das grandezas de interesse (usualmente tensões nodais, fluxos/injeções de potência) para operação em tempo real de sistemas de potência. A capacidade de processamento da EE depende da redundância dos dados, i.e., do excedente de medidas necessárias à observação da rede como um todo. Assim sendo, situações em que essa redundância atinge limites críticos (aqueles que põem em risco a confiabilidade dos resultados produzidos pela EE) devem ser conhecidas antecipadamente.

Criticalidades ocorrem em medidas solteiras, assim como em k -tuplas de medidas de diversas cardinalidades. Da mesma, ramos da rede também podem ser críticos. Em termos simples, criticalidades são combinações mínimas de medidas ou de ramos que, simultaneamente indisponíveis, tornam a rede elétrica inobservável. Devido ao elevado porte das redes elétricas de potência, a EE processa uma grande quantidade de medidas, o que faz a enumeração de k -tuplas críticas de medidas e de ramos da rede um problema combinatório de difícil solução, ainda não explorado de forma adequada. Propriedades algébricas e estatísticas podem ser investigadas e exploradas de forma a reduzir o espaço de busca de criticalidades.

Neste trabalho é investigada a aplicação do método *Branch-and-Bound* (BB) ao problema de enumeração de criticalidades de medidas. O problema de enumeração modelado como um problema otimização combinatória multimodal com restrições, resolvido de forma exaustiva. Propõe-se a representação das soluções na forma de um vetor binário de *status* (medidas presentes e ausentes), o qual é pesquisado empregando-se técnicas de busca em árvore. Investiga-se a construção de uma função-objetivo que permita empregar propriedades características da formação de k -tuplas críticas de medidas em procedimentos eficientes de poda, proporcionando reduções substanciais no espaço de busca do problema. O método proposto tem como vantagens a possibilidade de encontrar todas as criticalidades de um sistema de potência a

baixo custo computacional, por ser um procedimento paralelizável, flexível, e extensível a diferentes tipos de criticalidades, subsidiado pela função EE. Resultados numéricos de estudos de simulação com alguns sistemas-teste ilustram a aplicabilidade do método proposto.

PALAVRAS CHAVE: Estimação de Estado, Otimização Combinatória, Branch-and-Bound.

Área principal 1 – PO em Energia.

ABSTRACT

This paper proposes the application of an exhaustive method for the enumeration of critical data obtained from a measuring system devoted to the state estimation (SE) function. SE aims to statistical filtering of network monitoring data, providing a reliable real-time database for advanced analysis tools. The SE processing capability depends on data redundancy, i.e. the surplus of measurements required for the complete determination of the network state.

Data criticalities occur in single measurements, as well as in k -tuples measurements of various cardinalities. Similarly, network branches can also be critical. In simple terms, criticalities are minimal combinations of measurements or branches that simultaneously unavailable make unobservable the power grid. Due to the large size of the power systems, the EE processes many measurements, which makes the enumeration of critical k -tuples of measurements and network branches a combinatorial problem difficult to solve, not yet explored adequately. Algebraic and statistical properties can be investigated and explored in order to reduce the criticality search space.

In this work, the application of Branch-and-Bound method to the enumeration problem of the criticality of measurements is proposed. The enumeration problem is modeled as a multi-modal combinatorial optimization problem with restrictions, to be solved exhaustively. The representation of the solutions is proposed as a binary *status* vector (available or unavailable measurements) to be searched by means of tree searching techniques. One investigates the construction of an objective-function that allows the use of the formation properties of critical k -tuples in efficient pruning procedures, providing substantial reductions in the search space. The proposed method has the advantage of being able to find all data criticalities at low computational cost. Numerical results of simulation studies with some test-systems illustrate the applicability of the proposed method.

KEYWORDS: State Estimation, Combinatorial Optimization, Branch-and-Bound.

Main area: OR in Energy