

Título	Transmission Expansion Planning using a Genetic Algorithm
Autor	Cristina Duro Guillén
Directores	Sara Lumbreras, Andrés Ramos

RESUMEN

La red de transporte es la estructura básica responsable del suministro de electricidad a larga distancia. Interconecta los centros de generación con las subestaciones desde donde la red de distribución alimenta los núcleos de demanda. Por tanto la red de transporte tiene un papel esencial en el sistema de energía eléctrica.

Introducción

La Planificación de la Expansión de la red de Transporte (TEP) aborda el problema estocástico que determina las líneas óptimas y otros equipos a añadir en la red eléctrica para satisfacer la demanda estimada a largo plazo. El objetivo es definir cuándo y dónde deben instalar nuevos circuitos con un coste mínimo sujeto a un conjunto de restricciones.

La penetración de las renovables en la generación y la liberalización del mercado eléctrico introducen complicaciones. Por esto, TEP debe incorporar las incertidumbres inherentes a la generación y expansión de la red y anticipar los nuevos desarrollos.

Motivación

Los intentos de solucionar la cuestión de la expansión del transporte se han basado en modelos simplificados debido a la complejidad del problema. Para resolver TEP se emplean dos grandes grupos de métodos: clásicos y no clásicos. La Descomposición de Benders (BD) es uno de los métodos clásicos más importantes aplicados en el campo de la Optimización Estocástica. Permite resolver grandes problemas dividiéndolos en un problema maestro que propone nuevas soluciones y un subproblema que las evalúa y devuelve al maestro para las siguientes propuestas. Este proceso se resuelve iterativamente hasta convergencia. La resolución del maestro es lenta en el problema de TEP, debido a una cuestión de tamaño, condiciones de integrabilidad o por la adición de un gran número de cortes que complican la resolución del problema maestro [LUMB12].

La falta de adecuadas herramientas computacionales hace que investigar metaheurísticos sea atractivo para la generación de propuestas para TEP. Un metaheurístico es una técnica

de resolución que proporciona una solución suficientemente buena para un problema de optimización, especialmente con capacidad de computación limitada. El Algoritmo Genético (GA) es un metaheurístico extendido en el campo de TEP.

Metodología

El primer objetivo de este proyecto es diseñar un GA adecuado para resolver TEP. El GA genera propuestas que son evaluadas por el subproblema, y usa la información de costes proporcionada por el subproblema para definir la función fitness. Después se aplican los operadores genéticos tradicionales sobre la población: cruce y mutación. Otros operadores añadidos son la conservación el mejor individuo (reina) y la introducción de inmigrantes. Para realizar el ajuste de los parámetros genéticos y así poder obtener mejores soluciones para TEP, el GA es incluido en TEPEP (Transmission and Expansion Planning for an Electric System, un modelo desarrollado en el IIT que lleva a cabo TEP usando BD) y su correcto funcionamiento es comprobado en varios casos de estudio: 9BUS, 46BUS y un caso basado en el sistema español. Otro objetivo del proyecto es obtener soluciones óptimas para TEP. Finalmente, el GA es contrastado con la resolución con BD.

Resultados

Para resolver pequeños problemas el tamaño de población debe ser similar al número de nudos que configuran la red de transporte. El caso de estudio basado en el sistema español está compuesto por 1084 nudos y 294 plantas de generación. La red de transporte existente está formada por 1505 líneas y transformadores y la red candidata por 153 líneas. Se han construido 3 casos a partir de éste, considerando diferente número de líneas candidatas. Para estos 3 casos el mejor tamaño de la población es de 10 individuos. La tasa de mutación más adecuada es 1%. Las ejecuciones llevadas a cabo con el GA tardan menos de 20 minutos en alcanzar soluciones un error inferior al 0,3%. La introducción de inmigrantes no resulta ventajosa para obtener soluciones. La mejor forma de generar la población inicial es con una probabilidad de éxito en la distribución binomial ligeramente superior a la proporción de líneas instaladas en el plan óptimo.

BD alcanza la solución óptima o una muy similar con importantes ahorros de tiempo en los casos de estudio 1 y 2. En el caso más grande la resolución con BD queda se estancada con un error del 0,4% y el GA alcanza una solución con solo un error del 0.05% en un tiempo razonable.

Conclusiones

BD resuelve el subproblema una vez por iteración, pero el GA lo resuelve tantas veces como individuos forman la población, por lo que el número de individuos está directamente relacionado con el tiempo de ejecución. Para grandes problemas es

adecuado usar un tamaño de población suficientemente bajo para reducir el tiempo de ejecución.

Los clusters de soluciones con costes similares están relacionados con la tasa de mutación. Una mutación suficientemente baja actúa como un filtro de clusters, con la población perdiendo diversidad rápidamente.

Una población inicial con buenas cualidades ayuda al GA a alcanzar mejores soluciones, pero la introducción de inmigrantes generados de la misma manera que la población inicial no aporta beneficios al algoritmo.

Título	Transmission Expansion Planning using a Genetic Algorithm
Autor	Cristina Duro Guillén
Directores	Sara Lumbreras, Andrés Ramos

SUMMARY

The transmission grid is the basic infrastructure responsible for long-distance transferring electricity. It connects the generation plants with the substations from where the demand nucleuses are feed by the distribution grid. So transmission plays an essential role in the power systems of the future.

Introduction

Transmission and Expansion Planning (TEP) is a combinatorial stochastic problem that determines the optimal lines and other equipment to be added to a power network for supplying the forecasted demand in a long-term horizon. Its objective is to define when and where new circuits should be installed at minimum cost subject to a set of constraints.

The introduction of renewable generation and the liberalization of generation markets introduce further complications. Thus, TEP must incorporate the uncertainties inherent to generation expansion and anticipate new developments.

Motivation

Attempts to solve the transmission expansion problem have been made based on simplified models because of the complexity of the problem. Two types of methods have been used to solve TEP problem: classical and non-classical. Benders' decomposition (BD) is one of the main classical methods applied in the Stochastic Optimization domain. It allows solving large problems by dividing them into a master problem which proposes new solutions and a subproblem which evaluates them and sends feedback to the master for the next proposals. This process is solved iteratively until convergence. Master problem resolutions are slow. This can be a result of size, integrality conditions or the addition of a large number of cuts that complicate master problem resolution [LUMB12].

The lack of adequate computational tools becomes metaheuristics research an attractive issue for generating proposals for TEP. A metaheuristic is a solution technique that provides a sufficiently good solution to an optimization problem, especially with limited computation capacity. An extended metaheuristic in the TEP domain is the Genetic Algorithm (GA).

Methodology

The first objective of this project is to design a suitable GA for solving TEP. The GA generates proposals that are evaluated by the subproblem, and uses the cost information provided by the subproblem to define the fitness function. Then the traditional genetic operators are applied over the population: crossover and mutation. Other operators are added: saving the best individual and introducing immigrant individuals. In order to adjust the genetic parameters to obtain better results for TEP, the GA is included in Transmission and Expansion Planning for an Electric System (a model developed at the IIT that performs TEP using BD) and it is tested in several case studies: 9BUS, 46BUS and a Spain-based case. Another objective of this project is to obtain optimal solutions for TEP. Finally the GA is contrasted with BD resolution.

Results

For solving small problems the best population size is similar to the number of nodes that configured the transmission network. The Spain-based case study is composed of 1084 nodes and 294 power plants. The existing transmission network is configured by 1505 lines and transformers. The candidate transmission network consisted of 153 power lines. Three case studies have been constructed from the Spain-based case, considering different number of candidate lines. For the three case studies the best population size is 10 individuals. The most suitable mutation probability is 1%. The GA executions spent less than 20 minutes for reaching solutions with less than 0.3% error. The introduction of immigrants does not provide any advantage for obtaining solutions. The best way of generating the initial population is with a success probability in the binomial distribution slightly higher to the proportion of installed lines in the optimal plan.

BD reaches the best solution or a very similar one with important time savings in case studies 1 and 2. In the biggest case study BD gets stagnant with a 0.4% error and GA reaches a solution with only 0.05% error in a reasonable time.

Conclusions

BD solves the subproblem once per iteration, but GA solves it as many times as individuals that are in the population, so the number of individuals is directly related with the execution time. For large problems is suitable to use a population size low enough for reducing the execution time.

The mutation rate is related with the number of clusters. A mutation rate low enough acts as a filter of clusters. Higher mutation rates provide a faster response of the GA at the beginning of the iterative process, but contribute to stagnancy in the last iterations.

A good quality initial generation helps the GA for reaching better solutions, but the introduction of immigrants generated in the same way as the initial population is a useless operator for solving TEP.