

电力竞价上网智能决策支持系统

杨尚宝

(北京理工大学 自动控制系统, 北京 100081)

摘要: 根据电厂竞价上网的特点, 基于大系统控制论思想, 采用人工智能技术和博弈论方法建立了电力市场发电侧的电力竞价上网智能决策支持系统。采用数学模型方法建立发电成本计算模型; 采用数学模型与知识模型相结合的方法建立发电成本构成分析与优化模型; 采用 3 层前馈人工神经网络建立网上电价预测模型, 用遗传算法确定网络连接权, 以优化神经网络模型的学习过程; 采用博弈论方法建立上网电力报价模型。在建立这些模型的同时, 需要构建相应的数据库和知识库系统, 如企业生产与管理数据库系统、生产优化知识库系统和电网数据库系统等。

关键词: 电力市场; 竞价上网; 人工智能; 神经网络; 决策支持系统

中图分类号: F 123.9; TP 183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2006)11-0101-03

0 引言

“厂网分开、竞价上网”是我国电力工业改革的重点和发展趋势。为适应这种改革, 无论是电厂还是网管中心都必须研究竞价上网的相关技术^[1-6], 建立与之相适应的电力市场运营管理体制。

本研究立足于发电厂生产经营实际, 根据电厂竞价上网的特点, 基于大系统控制论思想, 采用人工智能技术和博弈论方法建立电厂侧的电力竞价上网智能决策支持系统。该系统的建立可以帮助电厂生产经营决策者进行竞价上网的分析、判断, 并提供辅助决策; 同时, 该系统还可以帮助决策者对电厂内的生产系统优化和经济调度进行决策。

1 系统分析与模型化

1.1 系统分析

电力竞价上网智能决策支持系统主要用于发电企业竞价上网, 因此, 该系统应具有发电成本核算、发电成本构成分析与优化、网上电价预测、电力报价及系统优化与决策等功能。电力竞价上网是一个大系统控制问题, 必须对系统内各方面因素进行分析、协调和综合, 对系统的优化和决策作出回应。

此外, 系统还应有性能方面的要求, 包括网络的可靠性、稳定性和先进性, 系统的实时性、准确性和灵活性等, 还包括各类数据库的完整性和安全性等。

1.2 模型化设计

为使电力竞价上网系统能有效地发挥作用, 根据大系统控制原理^[7], 对整个系统进行系统分析, 采用综合模型化方法建立系统模型, 并对系统进行优化管理与控制。

1.2.1 系统模型整体框架

基于以上需求分析, 系统模型的整体框架可设计为如图 1 所示的结构。

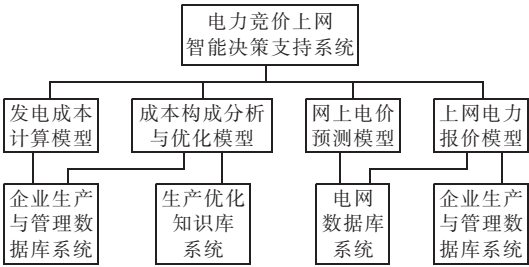


图 1 系统模型框架

Fig.1 Frame of the system model

1.2.2 广义模型化方法

对于电力竞价上网这样的大系统, 采用了广义模型化方法进行建模。本系统采用数学模型方法建立发电成本计算模型; 采用数学模型与知识模型相结合的方法建立发电成本构成分析与优化模型; 根据遗传算法原理建立网上电价预测模型; 采用博弈论方法建立上网电力报价模型。在建立这些模型的同时, 需要构建相应的数据库和知识库系统, 如企业生产与管理数据库系统、生产优化知识库系统和电网数据库系统等。

在发电成本计算模型、发电成本构成分析与优化模型、网上电价预测模型和上网电力报价模型的基础上进行综合、协调, 构成电力竞价上网智能决策支持系统。

2 电力成本分析及优化模型

2.1 电力成本的构成及分析

2.1.1 成本构成

成本是指企业为生产和销售一定种类和数量的产品所发生的各项费用的总和。

在发电厂成本分析中,随着发电量的增减,燃料费用、外购水费、消耗材料费也随之发生明显变动,故列为变动费用;而折旧、工资及福利、修理费、管理费、财务费用并不随发电量的增减发生明显变动,故列为固定费用。当然,固定成本费用和变动成本费用只是一个相对的概念^[8]。

2.1.2 发电盈亏临界点

盈亏临界点是指能使企业达到保本状态的业务量的总称。本研究用供电量表示盈亏临界点,以分析和计算企业经营安全程度和目标利润。盈亏临界点的原理如图 2 所示(图中, Z_c 分别为总成本和供电收入,分别对应曲线 1、2; W 为供电量; a 为盈亏临界点; I 为亏损区, II 为盈利区)。

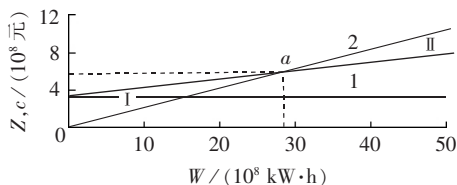


图 2 盈亏临界点原理图

Fig.2 Principle of critical point between profit and loss

2.2 电力成本的优化

为使发电企业利润最大化,则必须努力实现发电成本的最小化,即

$$\min Z = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_k = \sum_{i=1}^k Z_i$$

$$\min Z_i = CX$$

$$\text{s.t. } AX \leq B$$

$$X \geq 0$$

式中 Z 为发电成本, Z_i 为发电成本中的第 i 项,共有 k 项; C, X 为 n 维向量; B 为 m 维向量, A 为 $m \times n$ 维矩阵($m \leq n$)。

2.3 发电成本优化决策知识库系统

本研究根据电力生产技术经济指标,通过建立优化决策知识库系统分析电力生产的状况,并提出相应的对策建议。

发电成本优化决策知识库系统主要由知识库、数据库和推理机等组成。其中,知识库中储存经过处理的有关供电煤耗和厂用电分析、判断与决策的专家知识;数据库中储存发电企业发电生产及管理的相关数据,以及推理判断用的中间数据等;推理机主要是指运用知识和调用数据进行推理的模型系统。

本知识库系统主要用于电力成本的分析与优化决策,对系统的成本状况进行判断,并提出优化成本方案。因此,采用产生式规则和框架相结合的方式表示知识,如:

$$\text{IF } A \text{ THEN } B$$

式中 A 和 B 都是一个框架表示的知识,且

$$A = (a_1, a_2, \cdots, a_n) \quad n \geq 1$$

$$B = (b_1, b_2, \cdots, b_m) \quad m \geq 1$$

在知识推理过程中,一般都采用正向推理方式。

3 网上电价预测模型

3.1 基于神经网络的建模方法

本研究采用 3 层前馈人工神经网络建立网上电价预测模型以对网上电价进行预测。

采用人工神经网络模型进行网上电价预测时,首先要确定网络结构和网络中各神经元所选用的激发函数,然后确定网络中神经元之间的连接权及神经元阈值,也就是确定向量 W 的值。

在用神经网络模型对网上电价进行预测前,必须要收集样本数据对模型进行训练。例如,建立区域用电量预测模型,除收集正常情况下的有关数据外,还必须收集一些节假日(如星期日、元旦、国庆节等)用电量的有关数据。同时,对数值型的学习样本,要进行归一化处理,将样本数据转化为 0~1 区间的数据。

根据目前电力市场的竞价规则,发电企业是唯一一竞价上网,然后由电网公司组织电力输送和售出,电力需求用户一般不与

发电企业直接交易,因此,网上电价(竞价部分的价格)是唯一的。故此,神经网络模型中,输出层只含 1 个神经元,其结构如图 3 所示。

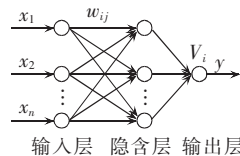


图 3 网上电价预测神经网络模型结构

Fig.3 Structure of electricity price forecast model based on NN

这样,采用反向传播学习方法即可对该神经网络模型进行训练和建模。

在图 3 所示的前向人工神经网络中,输入层中有 n 个神经元,隐含层中有 m 个神经元。输出层神经元的输出即整个网络的输出为 y 。网络中输入层的输出分别是 $x_1, x_2, \cdots, x_n$, 隐含层各神经元的输入分别是:

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j + \theta_i \quad i = 1, 2, \cdots, m \quad (1)$$

式中 w_{ij} 为隐含层神经元 i 与输入层神经元 j 的连接权,为隐含层神经元的阈值。

选择 Sigmoid 函数作为隐含层神经元的激发函数 $f()$, 则隐含层神经元的输出为

$$o_i = \frac{1}{1 + e^{-I_i}} \quad (2)$$

为不失一般性,取输出层神经元阈值为 0。输出层神经元的激发函数取为线性函数,则输出层神经元的输出即整个网络的输出为

$$y = \sum_{i=1}^m v_i o_i \quad (3)$$

式中 v_i 为输出层神经元与隐含层神经元 i 的连接权。

仍然定义由隐含层神经元与输入层神经元的连接权 w_{ij} 、隐含层神经元的阈值 θ_i 和输出层神经元与隐含层神经元的连接权 v_i 组成的向量为网络的连接权向量 W , 给出 W 值以后,就能在给出一组网络的输入后,由式(1)~(3)求出网络的输出值 y 。

3.2 基于遗传算法的模型优化

在本研究中,采用遗传算法对神经网络模型的学习进行优化。

遗传算法的实施过程中包括编码、产生群体、计算适应度、复制、交换、突变等操作^[9]。概括而言,遗传算法主要执行 4 步。

- 第 1 步 随机建立由字符串组成的初始群体。
- 第 2 步 计算各个体的适应度。
- 第 3 步 根据遗传概率,利用下述操作产生新个体:

- a. 复制,将已有的优良个体复制后添入新群体中,删除劣质个体;
- b. 交换,将选出的 2 个个体进行交换,所产生的新个体添入新群体中;
- c. 突变,随机的改变某一个体的某个字符后添入新群体中。

第 4 步 反复执行第 2、3 步后,一旦达到终止条件,选择最佳个体作为遗传算法的结果。

本研究中,用遗传算法确定网络连接权(W)以优化神经网络模型的学习过程。人工神经网络的学习结果是使能量函数 E 降低,因此,网络的学习过程也可以看作一个极小化的优化设计过程。其中,目标函数为 E,优化变量为 W,所以,能够应用遗传算法确定网络的连接权 W。其计算过程如图 4 所示。

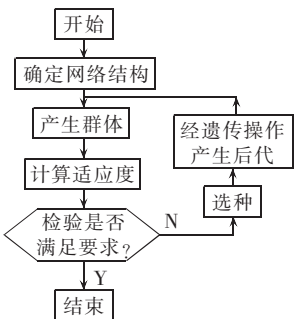


图 4 遗传算法计算流程
Fig.4 Calculation flow of GA

4 竞价上网博弈模型

在发电成本分析和网上电价预测的基础上,建立电力上网报价模型。电力竞价上网实际上是一个博弈问题,属于不完全信息的静态博弈,现用贝叶斯纳什均衡分析电力竞价上网问题,以建立基于贝叶斯博弈的竞价上网模型^[10]。

设 n 个发电企业的电价预测值分别为 $v_1, v_2, \dots, v_n$, 并设它们都采用如下的线性策略:

$$b_i = \theta_i v_i$$

式中 b_i 为博弈方 (即投标者) i 的报价。

则根据贝叶斯纳什均衡分析,发电企业的期望收益为

$$Eu_i = (v_i - b_i) \prod_{j=1, \dots, n; j \neq i} P\{b_i > b_j\} =$$
$$v_i (1 - \theta_i) \prod_{j=1, \dots, n; j \neq i} P\left\{v_j < \frac{\theta_i}{\theta_j} v_i\right\} =$$
$$v_i (1 - \theta_i) \theta_i^{n-1} v_i^{n-1} \prod_{j=1, \dots, n; j \neq i} \theta_j =$$
$$(\theta_i^{n-1} - \theta_i^n) v_i^n / \prod_{j=1, \dots, n; j \neq i} \theta_j$$

上述期望收益求偏导数并令其为 0, 可得:

$$(n-1) \theta_i^{n-2} - \theta_i^{n-1} = 0$$

可解得:

$$\theta_i = (n-1) / n$$

这意味着投标者 i 的策略是

$$b_i = \theta_i v_i = (n-1) / n \cdot v_i$$

由于所有投标者都是相同的,因此每个投标者都是把自己预测值的 $(n-1) / n$ 作为自己的报价,是该博弈的一个线性策略贝叶斯纳什均衡。

需要说明的是,这里的报价是指“利税报价”,因此,实际上网电价应为成本加上“报价”。

另外,如果没有限定博弈方采用线性策略,贝叶斯纳什均衡就会发生改变。事实上在真实的电力市场中,还有应根据实际情况进行策略研究。

5 结语

本文根据电力市场发电侧电力竞价上网的特点和发电企业的生产经营实际,在功能分析和模型化的基础上,建立了电力成本分析与优化模型、网上电价预测模型和竞价上网博弈模型。经过系统开发,该系统在模拟系统中的应用表明,该系统有助于对网上竞价的分析和判断,同时,对电力企业的生产系统优化和经济调度提供决策支持。该系统在真实系统中还须进一步修改完善。

参考文献:

[1] GROSS G, FINLAY D J. Optimal bidding strategies in competitive electricity markets[C]//The 12th PSCC. Dresdem:[s.n.], 1996:19-23.

[2] MACLEOD S I. Competitive bidding as a control problem[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1):88-94.

[3] MIELCZARSKI W, MLCHALIK G, WIDJAJRRJ M. Bidding strategies in electricity markets[C]//Proceedings of the 1999 IEEE PES Power Industry Computer Applications Conference(PICA'99). Santa Clara:[s.n.], 1999:71-76.

[4] CONEJO A J, PRIETO F J. Mathematical programming and electricity markets[J]. Sociedad de Estadística E Investigación Operativa, Top, 2001, 9(1):51-53.

[5] NICOLAISEN J, PETROV V, TESFATSION L. Market power and efficiency in a computational electricity market with discriminatory double-auction pricing[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2001, 5(5):514-523.

[6] DARIUSH S. Transmission dispatch and congestion management in the emerging energy market structures[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(4):1466-1474.

[7] 涂序彦. 大系统控制论[M]. 北京:国防工业出版社, 1994.

[8] 曾鸣. 电力市场理论及应用[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.

[9] 云庆夏, 黄光球, 王战权, 等. 遗传算法和遗传规划——一种搜索寻优技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 1997.

[10] 谢识予. 经济博弈论[M]. 上海:复旦大学出版社, 2002.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

杨尚宝(1964-),男,安徽马鞍山人,教授,博士,主要从事模式识别与智能系统的研究(E-mail: yangsb@ndrc.gov.cn)。
(下转第 113 页 continued on page 113)

Intelligent decision support system for electricity bidding

YANG Shang-bao

(Department of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081 China)

Abstract: Combined with features of electricity bidding and based on the control theory of large scale systems, an intelligent decision support system for electricity bidding in deregulated power market at generation side is established by using the artificial intelligence technology and the game theory. The model of composition analysis and optimization for generation cost is set up combining the mathematical model and the knowledge model of generation cost calculation. The model of electricity price forecast on network is set up by using a three-layer forward-feedback artificial neural network, and its network connection weights are decided by genetic algorithm to optimize its learning process. The model of electricity pricing on network is set up by the game theory. Relative database and knowledge database systems are necessary for these models, such as the enterprise production and management database system, the production optimization knowledge database system and the power grid database system and so on.

Key words: electricity market; bidding; artificial intelligence; neural network; decision support system