

# 电力市场中发电企业竞价行为的 RePast 仿真

黄 仙,刘旭东

HUANG Xian,LIU Xu-dong

华北电力大学 控制科学与工程学院,北京 102206

Department of Automation, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

E-mail: hx@ncepu.edu.cn

**HUANG Xian,LIU Xu-dong.Study on RePast-based simulation for power generation companies' bidding behavior in electric market.Computer Engineering and Applications,2010,46(5):208-210.**

**Abstract:** As incomplete information and monopolistic electric market, power generation companies sell electric power to grid by bidding price. It is quite important for them to get maximum income by taking the optimal bidding strategy. In this paper, these companies' bidding behavior is modeled and simulated on Repast platform with an idea of multi-agent which combines both theories of game and complex adaptive system. Self-learning ability and alternating behavior of the population of power generation companies are both taken into account. The abilities that each agent can accumulate experience gained during competition bidding and can modify its predict function at every bidding are simulated so as to get the maximal payoff. The simulation results show the presented method is effective.

**Key words:** electric market; bidding; Complex Adaptive System(CAS); agent; simulation

**摘 要:** 不完全信息,寡头垄断的电力市场中,发电企业竞价上网,面临的关键是如何采用最优的申报策略以获得最大的发电收益。基于多主体的建模思路和方法,将复杂适应系统理论与博弈理论相结合,利用 RePast 平台对发电企业的竞价过程进行了建模仿真研究。模型考虑了发电企业群体成员的自学习性及个体之间的交互行为。仿真过程中,各参与主体在各次竞价中积累知识,不断修正各自的预测函数,以达到最优收益。仿真结果验证了该方法的有效性。

**关键词:** 电力市场;竞价;复杂适应系统;主体;仿真

**DOI:**10.3778/j.issn.1002-8331.2010.05.063 **文章编号:**1002-8331(2010)05-0208-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391.9

## 1 引言

在电力市场环境中,发电企业在市场中作为独立的经济实体,通过“竞价上网”参与市场竞争。与改制前不自主地按计划发电不同,发电企业要自己决定在电力市场上报的供电电量和电价。发电企业的收益如何与它所采用的竞价策略有极大关系。研究发电侧企业的竞价行为,对于优化电力市场机制、提高企业的经营效益都具有重要的意义。针对发电侧竞价的问题,国内外学者进行了多方面的研究。归纳起来大致可分为以下三方面<sup>[1]</sup>:(1)基于预测市场出清价(MCP)的策略性报价方法;(2)基于预测其他竞争对手的报价行为的方法;(3)基于博弈论的策略性报价方法。在现实的发电市场中,众多的发电企业为使自己的收益最大化,不断与电网企业和其他发电企业进行着信息的交换和自身竞价策略的修改,进而影响着整个市场均衡点变化。传统的微分方程模拟、系统动力学定量分析等方法,不足以反映企业的个体行为方式随外界情况变化而产生的适应性改变,而基于主体的建模仿真方法能够比较有效地解决这一问题。以复杂适应系统(Complex Adaptive System,CAS)理论结合博弈理论来研究、设计相关的主体,并利用 RePast(Re-

cursive Porous Agent Simulation Toolkit)平台构建仿真模型,尝试用计算机模拟的方法对发电侧竞价进行分析研究。

## 2 复杂适应系统与 RePast

复杂自适应系统(Complex Adaptive System,CAS)理论是美国计算机科学家霍兰于1994年,在圣塔菲 SantaFe 研究所成立10周年时首次提出的。CAS理论把系统的成员看作是具有自身目的与主动性的积极的主体。主体能够与环境以及其他主体进行交流,在这种交流的过程中“学习”或“积累经验”,并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式。整个系统因此而产生演变或进化,包括新层次的产生、分化和多样性的出现,新的聚合而成的更大主体的出现等等。CAS理论的基本思想:“适应性造就复杂性”<sup>[2]</sup>。

CAS理论的最大贡献在于它提供了一种自底向上建模的研究方法<sup>[3]</sup>。这种方法赋予组成系统的个体 Agent 以简单的规则和关系,通过仿真来重现真实世界的复杂现象。传统的自顶向下建模方法要求明确给出目标系统的所有规则和关系,包括定性的和定量的、内部的和外部的,这种巨大的任务在实际系

**作者简介:**黄仙(1966-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究领域为复杂系统、系统综合评价与决策等;刘旭东(1983-),男,硕士研究生,研究方向为复杂自适应系统的计算机建模与仿真。

**收稿日期:**2008-08-18 **修回日期:**2008-11-07

统研究中往往是不可行的,它的局限性还在于,它没有考虑现实生活中主体经常遇到的诸如获取信息和选择等过程,因此自顶向下建模方法经常运用简化的方式,但是经常被简化到不能充分反映实际情况的程度;而自底向上建模集中于构造具有相对简单行为的个体 Agent,这些 Agent 可以被描述得很细,于是系统的复杂行为就来自于这些 Agent 之间的交互。

选择已有的主体建模工具进行开发,可以使研究集中在主体行为规则的实现上,减少与领域问题无关的仿真编程的负担。在 Robert Tobias 与 Camle Hofmann 对主要的主体建模工具进行的评价比较中<sup>[4]</sup>,RePast 在文档、建模仿真能力、易用性等方面都位居第一,综合得分最高,因此,该文选择 RePast 作为仿真开发平台。

RePast 起源于芝加哥大学社会科学计算研究所。其最初设计目标是为社会仿真提供一个易于使用、易于扩展且功能强大的仿真工具包,现已发展成一个通用的主体仿真平台。RePast 实质上是一组类库,提供了用于主体仿真建模的各种类库。建模者可以通过直接使用这些类或从这些类继承子类来构造自己的模型。RePast 主要的类库有:分析(Analysis)库,用来聚集、记录数据以及建立数据表;引擎(Engine)库,负责建立、操纵以及运行一个模拟模型;图形用户界面(GUI)库,负责实现模拟模型的图形可视化;空间(Space)库,通过恰当的接口有效地描述了各种类型的空间,与 GUI 库中的显示类联合工作,可实现它们所包含的空间以及对象的可视化;实用工具包(Util)库,提供了仿真程序的常用静态方法。

利用 RePast 进行建模的步骤见图 1。

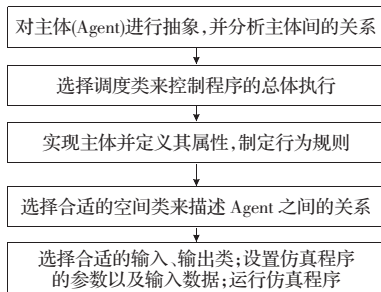


图 1 RePast 平台建模步骤

### 3 发电侧竞价的建模仿真

发电市场中的主体主要有两类:电网公司和发电企业。电网公司的主体信息是市场需求函数:发送信息是市场出清时的价格;接受信息是各个发电企业的供电量。电网公司的决策过程是依据市场供电量和市场需求函数,决定市场出清时的价格,并发送给各发电企业。发电企业的主体信息是自己的成本函数及对对手成本函数的经验预测值;发送信息是自己的发电电量;接收信息是市场出清价格和其他发电企业的发电量。有了上述发电企业信息假定,需要重点研究主体的成本预测方式及其博弈行为。

#### 3.1 电网公司行为规则定义

电网公司的接收和提供产品和服务是同质的。发电企业竞争的是电能产品的价格和数量。

电网公司的电力需求函数为:

$$p=f(Q)=p_{\max}-\gamma Q \quad (1)$$

式中: $p$  为实时电价; $p_{\max}$  为可能达到的最高电价,若高于此电价,则用户就不会使用电能; $\gamma$  为大于 0 的常量系数; $Q$  为市场

需求电量。

电网公司的总供电量:

$$Q=\sum_{i=1}^n q_i \quad (2)$$

式中: $q_i$  为各发电公司主体的上网电量。

#### 3.2 发电公司的行为规则定义

向电网主体供电的发电主体共有  $N$  个。发电主体的决策具有独立性、同时性和非合作性。发电企业决策的目标是实现利润最大化。

发电主体  $i$  的实际成本函数为:

$$Cost_i(q_i)=a_i q_i^2+b_i q_i+c_i \quad (3)$$

式中: $a_i, b_i, c_i$  对于发电企业  $i(i=1, 2, \dots, N)$  是一常量; $q_i$  是发电企业的供电量。

发电主体  $i$  的收益函数为:

$$R_i(q_i)=q_i f(Q)-Cost_i(q_i) \quad (4)$$

发电主体为实现利润最大化要满足条件: $\partial R_i(q_i)/\partial q_i=0$ ,所以要实现利润最大化关键是确定  $Q$ ,  $Q$  与每个发电主体的成本函数及市场需求函数有关。

发电主体在每次竞价之前都要预测其他发电主体的供电电量以确定自己的最优供电电量。预测分为两个阶段:

(1) 初始阶段竞价

在初始阶段,由于发电企业对于其他发电企业的信息了解非常有限,因此,采用的方法是假设对方为某一特定情况,然后依据这种假设进行决策。假设发电企业  $i$  认为假定对手的成本函数与其实际成本函数之间的误差服从正态分布。即发电企业  $i$  预测  $j$  的成本函数为:

$$Cost_j^i(q_j^i)=a_j^i (q_j^i)^2+b_j^i q_j^i+c_j^i+\xi_j^i \quad (5)$$

式中  $i, j=1, 2, \dots, n; j \neq i$ 。则有  $\xi_j^i \in N[0, \sigma^2(Cost_j^i)]$ 。

$N[0, \sigma^2(Cost_j^i)]$  表示以期望值 0 和方差  $\sigma^2(Cost_j^i)$  为参数的正态分布。假定标准差采取以下形式: $\sigma^2(Cost_j^i)=gq_j^i$ , 其中  $g$  是经验值,为一正常量<sup>[4]</sup>。则收益  $R_j^i(q_j^i)$  的期望值为:

$$\bar{R}_j^i(q_j^i)=q_j^i f(Q^i)-a_j^i (q_j^i)^2-b_j^i q_j^i-c_j^i \quad (6)$$

式中  $Q^i$  为发电企业  $i$  预测市场总需求量。

收益  $R_j^i(q_j^i)$  的标准方差为:

$$\sigma[R_j^i(q_j^i)]=gq_j^i \quad (7)$$

每个生产者的目标是期望收益最大化,同时最小化标准方差。所以发电企业  $j$  的收益函数为:

$$\Psi_j^i(q_j^i)=\bar{R}_j^i(q_j^i)-\alpha_j \sigma[R_j^i(q_j^i)]=q_j^i (P_{\max}-\gamma \sum_{l=1, l \neq j}^n q_l^i-\gamma q_j^i)-a_j^i (q_j^i)^2-b_j^i q_j^i-c_j^i-\alpha_j gq_j^i \quad (8)$$

$\alpha_j$  是发电企业  $i$  对发电企业  $j$  得益评估的风险厌恶程度,取 3 到 4 之间的常数。

发电企业  $i$  为了实现利润最大化,需满足条件  $\partial R_i(q_i)/\partial q_i=0$ 。生产决策函数为:

$$q_i=\frac{[-\gamma \sum_{j=1, j \neq i}^n q_j^i+P_{\max}-b_i]}{2\gamma+2a_i} \quad (9)$$

发电企业  $i$  预测  $j$  满足如下利润最大化条件:

$$\frac{\partial \Psi_j^i(q_j^i)}{\partial q_j^i} = 0 \quad (10)$$

所以发电企业  $i$  预测发电企业  $j$  的电量为:

$$q_j^i = \frac{[-\gamma(\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n q_l - q_i) + P_{\max} - b_j^i - \alpha_j^i g]}{2\gamma + 2a_j^i} \quad (11)$$

(2) 第二阶段竞价

发电企业利用竞价中获取的信息对行为规则进行修正,当修正模型预测准确度高于第一阶段模型时,采用修正模型进行竞价。假设发电企业  $i$  预测  $j$  的成本函数为:

$$Cost_j^i(q_j^i) = a_j^i (q_j^i)^2 + b_j^i q_j^i + c_j^i \quad (12)$$

式中  $a_i, b_i, c_i$  为发电企业  $i$  预测发电企业  $j$  的成本函数系数。发电企业  $i$  在每次竞价后,利用  $j$  的实际上网电量来对其成本预测函数进行修正为:

$$Cost_j^i(q_{j,t-1}^i) = (1+r_{j,a}^i) a_j^i (q_{j,t-1}^i)^2 + (1+r_{j,b}^i) b_j^i q_{j,t-1}^i + c_j^i \quad (13)$$

式中:  $r_{j,a}^i$  为系数  $a_j^i$  的修正系数;  $r_{j,b}^i$  为预测成本函数系数  $b_j^i$  的自动调整系数;  $q_{j,t-1}^i$  为发电企业  $j$  的第  $t-1$  次博弈的实际上网电量。

发电企业  $i$  的生产决策函数为式(9),发电企业  $j$  的收益函数形式为式(4),则发电企业  $i$  预测发电企业  $j$  为实现利润最大化,需要满足条件:

$$\frac{\partial R_j^i(q_j^i)}{\partial q_j^i} = -2(\gamma + (1+r_{j,a}^i) a_j^i) q_j^i - \gamma \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n q_l - \gamma q_i + P_{\max} - (1+r_{j,b}^i) b_j^i = 0 \quad (14)$$

发电企业  $j$  的生产决策函数可由式(14)得到:

$$q_j^i = \frac{-\gamma \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n q_l - \gamma q_i + P_{\max} - (1+r_{j,b}^i) b_j^i}{2[\gamma + (1+r_{j,a}^i) a_j^i]} \quad (15)$$

在竞价过程中,设定  $r_{j,b}^i$  为自动调整系数,其调整方法为:

$$r_{j,b}^i = \begin{cases} \mu, & q_{j,t-1}^i - q_{j,t-1}^i < -\varepsilon \\ -\mu, & q_{j,t-1}^i - q_{j,t-1}^i > \varepsilon \\ 0, & |q_{j,t-1}^i - q_{j,t-1}^i| < \varepsilon \end{cases} \quad (16)$$

设定  $r_{j,a}^i$  为修正系数,在给定  $r_{j,b}^i$  后,在式(15)中用  $q_{j,t-1}^i$  代替  $q_j^i$  可以求出修正系数为:

$$r_{j,a}^i = \frac{[-\gamma(\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n q_{l,t-1}^i + q_i) + 2] + P_{\max} - (1+r_{j,b}^i) b_j^i - 2a_j^i q_j^i}{2a_j^i} \quad (17)$$

#### 4 基于 RePast 平台的发电侧竞价仿真试验

在确定了发电市场的主体及行为规则的基础上,利用 RePast 开发工具包,使用 JAVA 语言进行仿真程序的原型开发。发电侧竞价仿真实验所用数据为虚拟数据。

设某发电市场有一家电网企业和八家发电企业,电网企业的需求函数为  $p_d = 25 - 0.08Q_d$ ,发电企业的实际成本函数系数见表 1。

表 1 各发电企业成本系数列表

发电企业	$a$	$b$	$c$
1	0.001 5	1.90	0.020
2	0.010 3	3.20	0.035
3	0.073 5	1.20	0.046
4	0.024 0	2.90	0.025
5	0.025 0	3.00	0.020
6	0.017 5	1.75	0.028
7	0.023 0	2.70	0.024
8	0.003 8	2.00	0.027

试验中为考察发电主体对市场总需求量的预测准确度,以完全信息下的 Cournot 博弈均衡解作为准确度参照,对比了随着竞价次数的增加,发电企业总供电量与市场出清价格的变化趋势。试验结果如图 2、图 3 所示。

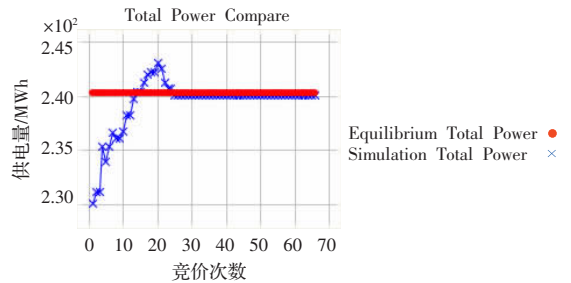


图 2 总供电量各次仿真结果与均衡解之比较图

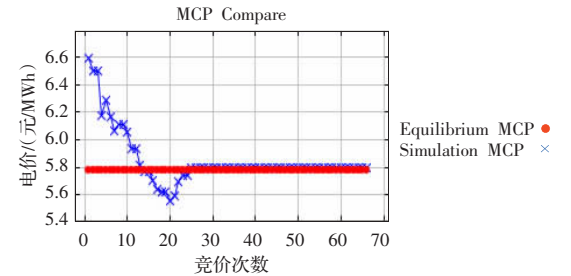


图 3 市场出清价各次仿真结果与均衡解之比较图

由图 2、图 3 两图可以看出,在初始阶段各发电主体,从市场上获得的信息较少。只能依靠经验值对其他的发电主体的成本函数进行预测,所预测的结果与实际结果有一定差别,从而造成总供电量与市场出清电价与均衡值有偏差。随着竞价次数的增加,发电主体从市场上获得的信息增多,此时开始利用所获得的信息进行预测成本函数的修正,多次修正之后总供电量与市场出清电价都收敛于均衡值附近,此时各发电主体各自收益达到最大。

#### 5 结论

采用基于主体的建模仿真方法,初步实现了发电侧竞价的建模与仿真。该模型可依据在竞价过程中获取的信息,对预测成本函数进行修正,进而提高了对对手信息预测的准确度。为验证该模型,在实验中以完全信息市场下的发电量与市场出清价作为参考,通过仿真发现该模型的结果收敛于完全信息市场下的结果。

基于 RePast 的多主体仿真模型便于从微观出发,对宏观经济运行和调控的规律性进行研究。

#### 参考文献:

[1] 李娜,李郁侠,王丽霞,等.电力市场环境下载电公司竞价策略[J].电网与水力发电发展,2008,24(1):50-53.