

基于遗传算法的控制系统在废水处理中的应用

胡康¹, 万金泉^{1,2}

(1. 华南理工大学制浆造纸国家重点实验室, 广东 广州 510641;

2. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006)

摘要:为了结合 MATLAB 软件和组态软件 MCGS 的优点,通过 OPC 通讯技术实现两者之间的数据交换;同时引入遗传算法对人工神经网络进行优化,实现了遗传神经网络控制算法和 MCGS 的有机结合。仿真结果表明,人工神经网络的预测值与实际值之间的最大相对误差为 10.28%,最小相对误差为 5.28%,平均相对误差为 7.82%,平均绝对百分比误差为 0.12%;经过遗传算法优化之后,这些误差分别降为 6.25%,1.67%,4.30%,0.073%。说明经过遗传算法优化后的人工神经网络具有更好的性能,遗传神经网络控制算法和 MCGS 的有机结合对废水处理过程可以实现有效的控制。

关键词:遗传算法;人工神经网络;废水处理;组态软件

中图分类号:TP183

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)02-0018-04

Intelligent Control System Based on Genetic Neural Network for Wastewater Treatment

HU Kang¹, WAN Jin-quan^{1,2}

(1. State Key Lab. of Pulp and Paper Eng., South China University of Techn., Guangzhou 510641, China;

2. College of Environmental Science and Eng., South China University of Techn., Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to integrate advantages of MATLAB software and configuration software MCGS, it achieved to exchange data between the two using the OPC communication technology; and it also achieved to combine genetic neural network control algorithm and MCGS just because it applied genetic algorithm to optimize artificial neural networks. Simulation results were shown that, using artificial neural networks, the maximum relative error, minimum relative error, average relative error and mean absolute percentage error between predicted and actual values were 10.28%, 5.28%, 7.82% and 0.12%, respectively. While the artificial neural networks model was optimized, using a genetic algorithm, they were converged to be 6.25%, 1.67%, 4.30% and 0.073%, respectively. It was shown that, the artificial neural network optimized by genetic algorithm had better performance; it can achieve effective control to combine genetic neural network control algorithms with MCGS in wastewater treatment process.

Key words: genetic algorithm; artificial neural network; wastewater treatment; configuration software

0 引言

人工神经网络是一种具有自适应处理能力的并行计算模型,它可以高度灵活的逼近任何函数,可以解决复杂的非线性问题^[1]。很多研究都表明,在水资源领域人工神经网络具有很好的适用性,但是比较容易陷入局部最优^[2]。遗传算法是一类具有并行迭代能力和学习能力的全局搜索算法,它使用选择、交叉和变异三个算子对问题进行求解,最终实现在解空间的全局搜

索寻优。过去 30 年中,在解决复杂的全局优化问题方面,遗传算法取得了成功的应用^[3-5]。鉴于废水处理的复杂性和不确定性,通常采取遗传算法和人工神经网络相结合的混合算法对废水处理过程进行控制。近几年,这种混合算法发展的非常快^[6-8]。MCGS 是一款全中文的工控组态软件,组态灵活,可生成友好的交互式图形界面,提供各种现场设备的驱动,上位机与现场控制系统之间连接简单等特点,但通常只能实现数值计算分析和简单的控制策略。MATLAB 是 Math Works 公司的一款科学工程计算软件,数据处理效率高,提供了丰富的控制工具箱,容易实现复杂的控制算法,但界面编写功能比较有限^[9,10]。文中用 MATLAB 语言编制了遗传神经网络控制算法,并通过一种基于 OPC 技术的互连方法,实现了 MATLAB 和 MCGS 两者之间的数据通信,有效地实现了 MATLAB 和 MCGS

收稿日期:2010-07-17;修回日期:2010-10-30

基金项目:国家“863”计划项目(2007AA03Z433);广东省重点科技攻关项目(2008A0302008);广东省科技计划项目(2008B030302035);广东省节能减排重大专项(2008A080800003)

作者简介:胡康(1988-),男,江西吉安人,硕士,研究方向为废水处理智能化;万金泉,教授,博士生导师,研究方向为水污染控制。

的集成。文中以一个废水处理曝气量控制系统为例来实现 MATLAB 和组态软件 MCGS 之间的数据交换设计和仿真。

1 MCGS 与 MATLAB 数据通信的实现

1.1 OPC 通讯方式

OPC(OLE for Process Control)规范是在微软倡导下,由 OPC 基金会所建立的硬件和软件接口标准,它基于微软现有的 OLE、组件对象模型 COM(Component Object Model)、分布式组件对象模型 DCOM(Distributed COM)技术,目前已得到越来越多的工控领域硬件和软件制造商的承认和支持,并已成为事实上的国际标准。OPC 规范其实质是在硬件供应商和软件开发商之间建立了一套完整的“规则”,只要遵循这套规则,数据交互对两者而言是透明的^[11]。OPC 规范包括 OPC 服务器和 OPC 客户端 2 个部分,OPC 服务器由 3 类对象组成,包括服务器(server)、组(group)和数据项(item)。客户不能直接对数据项进行操作,所有的操作都是通过组对象来进行的。

1.2 MATLAB 通讯的实现

Math Works 公司推出的 MATLAB 7.0 以上版本中,集成了 OPC 工具箱,它是一个 OPC 客户端数据访问软件,提供了一种服务器和客户端互访的通信机制,通过 OPC 工具箱可以连接任何一个 OPC 数据服务器,实现对连接的 OPC 服务器数据的读或写^[12]。基于 OPC 的 MATLAB 与 MCGS 通信流程图如图 1 所示。OPC 基金会提供了一套可以在网络上浏览其他计算机并能与之通讯的核心组件,但这些核心组件并没有安装,在使用 OPC Toolbox 之前需要安装到计算机中去,在 MATLAB 环境中可以使用命令 opcregister(‘install’)来安装。

1.3 MCGS 通讯的实现

首先在 MCGS 组态环境下,新建一个曝气量控制工程,设置 4 个变量,包括进水流量(jsll)、进水 COD(COD1)、出水 COD(COD2)和曝气量(BGA),完成动画组态,运行环境下的效果图如图 2 所示。运行时可以对进水流量、进水 COD 和出水 COD 三个数值量进行设置,曝气量用来显示出 MATLAB 运算后返回的值。启动 MCGS 后,OPC 服务器功能将自动启动,MATLAB 就可以对数据变量 jsll、COD1、COD2 和 BGA 进行读写操作。

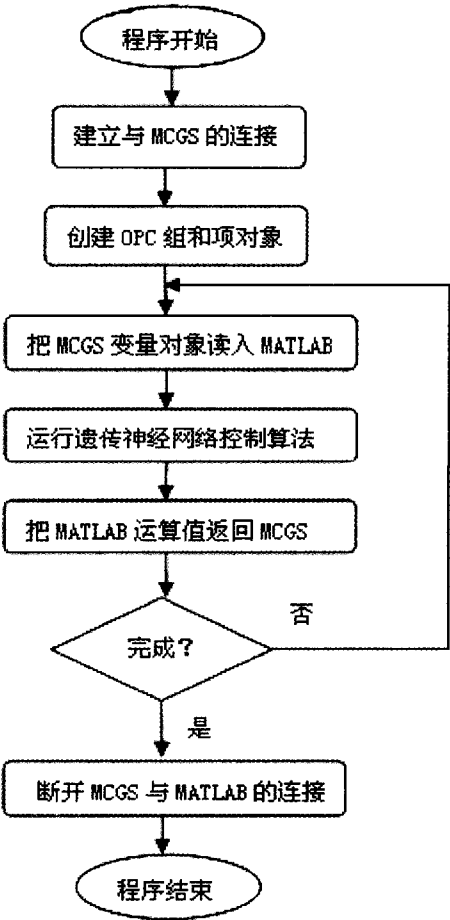


图 1 MATLAB 与 MCGS 通信流程图

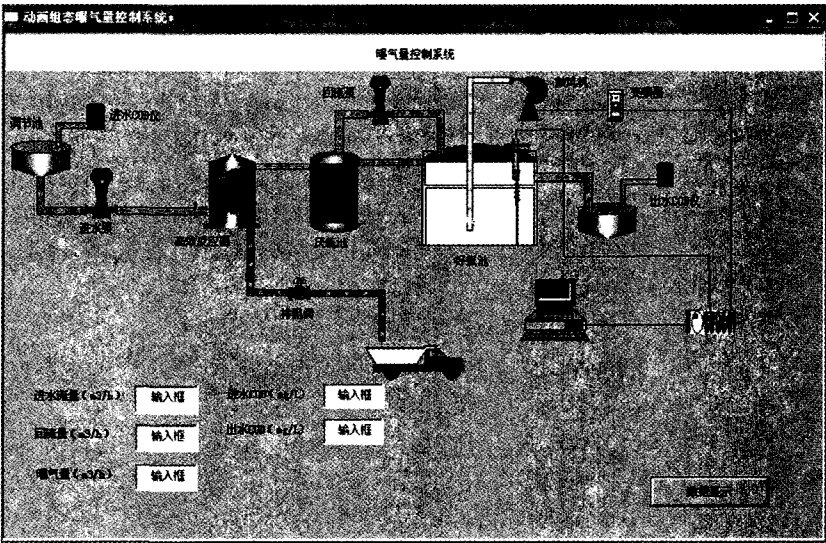


图 2 曝气量控制系统运行图

2 实验数据的获取及遗传神经网络的建立

2.1 实验系统及数据的获取

实验所用的废水处理工艺流程如图 3 所示。结合实验室具体条件,在此采用正交实验法进行实验,考虑

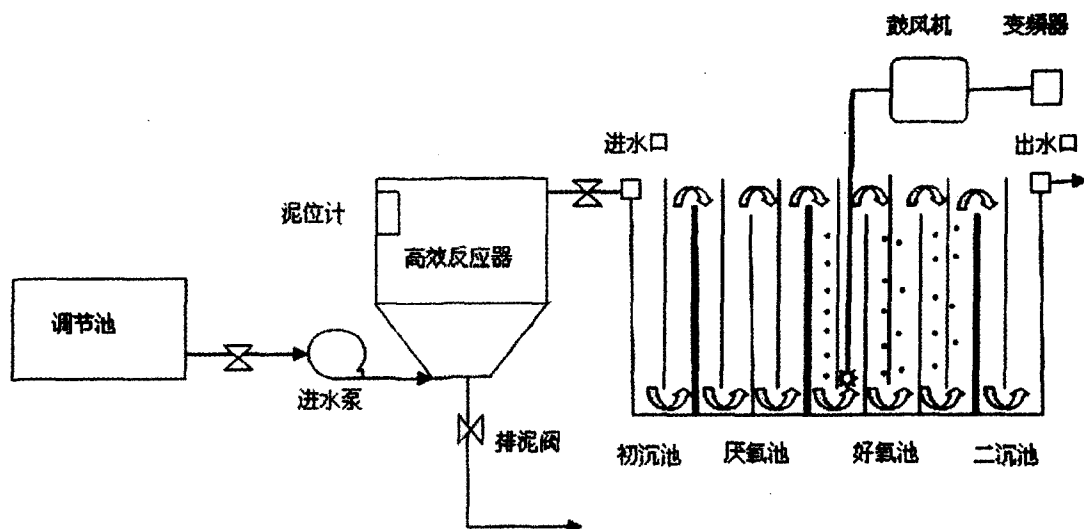


图3 实验室废水处理工艺

进水流量、进水 COD、曝气量 3 个因素,每个因素选取 4 个水平,考察这些量与出水 COD 的相互关系。从而得到 64 组数据,随机选取其中 48 组数据用于遗传神经网络的训练,另外 16 组数据用来检验训练好的网络。

2.2 遗传人工神经网络的建立

人工神经网络采用三层 BP 网络,输入和输出层分别为 3 个输入节点和 1 个输出节点,经过多次实验确定选用 4 个隐含节点的网络结构。采用遗传算法优化人工神经网络,优化流程图如图 4 所示。优化过程包含以下要素:

(1) 编码方法。

编码方法采用实数编码,每个个体均为一个实数串,由输入层与隐含层连接权值,隐含层阈值,隐含层与输出层连接权值,输出层阈值等四部分组成。由于拟合非线性函数有 3 个输入参数,1 个输出参数,所以设置的 BP 神经网络结构为 3-4-1,即输入层有 3 个节点,隐含层有 4 个节点,输出层有 1 个节点,共有 16 个权值,5 个阈值,所以遗传算法个体编码长度为 21。

(2) 适应度值。

根据个体得到 BP 神经网络的初始权值和阈值,

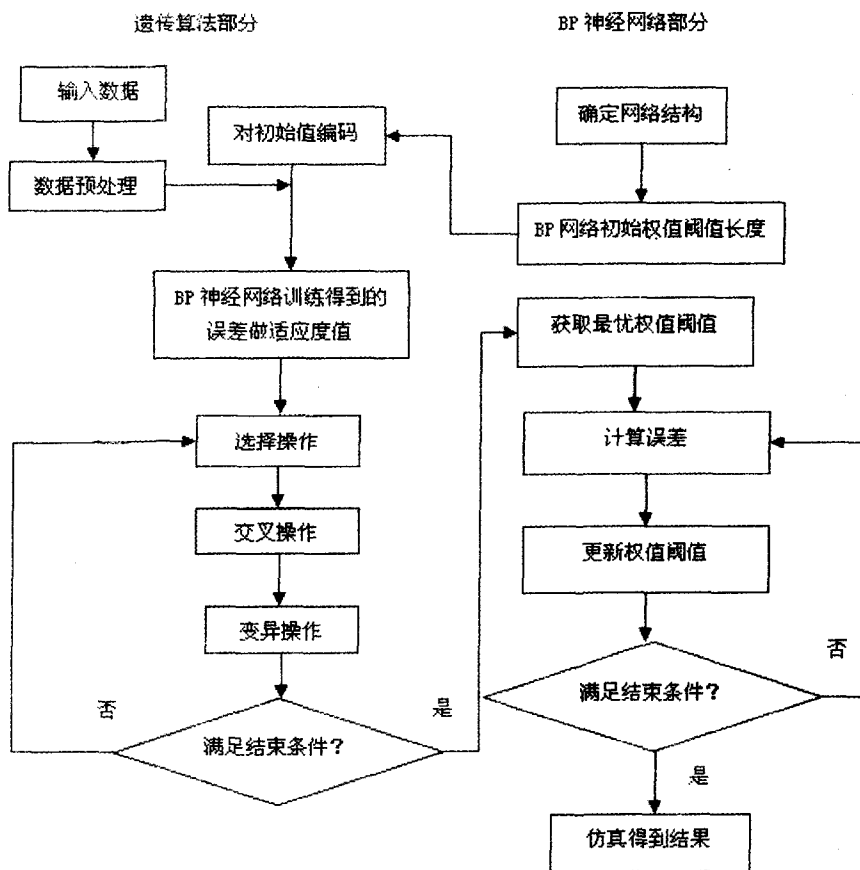


图4 遗传算法优化人工神经网络流程图

用训练数据训练 BP 神经网络后预测系统输出,把预测输出和期望输出之间的误差绝对值之和 E 作为个体适应度值 F ,定义个体适应度值如下:

$$F = \sum_{i=1}^n \text{abs}(S_i - Y_i) \quad (1)$$

式中: n 是训练数据样本总数, S_i 是样本 i 的实际输出, Y_i 是样本 i 的预测输出。

(3) 选择操作。
采用轮盘赌法,个体被选中概率的计算方法如式(2)和(3)所示:

$$f_i = 1/F_i \tag{2}$$

$$p_i = f_i / \sum_{i=1}^N f_i \tag{3}$$

式中: f_i 是个体*i*被选择到的概率, p_i 是 f_i 归一化后的值, N 是个体总数。

(4) 交叉操作。

采用实数交叉法,第*k*个染色体 a_k 和第*m*个染色体 a_m 在*j*位的交叉操作方法可表示如下:

$$a_{kj} = a_{kj} * (1 - r) + a_{mj} * r \tag{4}$$

$$a_{mj} = a_{mj} * (1 - r) + a_{kj} * r \tag{5}$$

式中: r 是一个随机值。

(5) 变异操作。

采用实数变异法,个体 a_{ij} 的变异方法如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij} + (a_{ij} - \max a) * \eta(g) & t > 0.5 \\ a_{ij} + (\min a - a_{ij}) * \eta(g) & t < 0.5 \end{cases} \tag{6}$$

$$\eta(g) = t * (1 - g/G)^3 \tag{7}$$

式中: g 是当前遗传代数, G 是总的遗传代数, t 是一个随机值。

3 实验结果

验证用实验数据及其仿真结果如表1所示。人工

表1 验证用实验数据及其仿真结果

序号	进水 COD (mg/L)	进水流量 (L/h)	出水 COD (mg/L)	实际曝气量 (L/h)	人工神经网络预测值 (L/h)	遗传人工神经网络预测值(L/h)
1	300	10	12	120	108	113
2	300	15	37	240	223	225
3	300	20	56	360	341	350
4	300	25	87	480	514	495
5	500	10	15	120	112	114
6	500	15	45	240	222	229
7	500	20	68	360	390	378
8	500	25	92	480	449	452
9	700	10	16	120	111	118
10	700	15	48	240	259	253
11	700	20	76	360	323	340
12	700	25	102	480	522	502
13	900	10	18	120	112	118
14	900	15	50	240	223	230
15	900	20	86	360	325	345
16	900	25	110	480	436	465

神经网络和遗传人工神经网络的仿真结果的最小相对误差、最大相对误差、平均相对误差和平均绝对百分比误差如表2所示。由表2可知,经过遗传算法优化后的人工神经网络具有更好的性能,遗传人工神经网络控制算法和MCGS的有机结合对废水处理过程可以实现有效的控制。

表2 人工神经网络和遗传人工神经网络的仿真误差对比

	最大相对误差(%)	最小相对误差(%)	平均相对误差(%)	平均绝对百分比误差(%)
人工神经网络	10.28	5.28	7.82	0.12
遗传人工神经网络	6.25	1.67	4.30	0.073

4 结束语

与人工神经网络相比,遗传人工神经网络具有更好的性能。文中介绍的智能控制系统实现了遗传算法与神经网络,MATLAB与MCGS的完美结合。首先使用MATLAB语言编写出使用遗传算法优化了的人工神经网络控制算法,再通过OPC通讯技术实现了MATLAB与MCGS之间的数据交换。仿真结果表明,遗传人工神经网络曝气量预测值与实际值之间的最大相对误差为6.25%,最小相对误差为1.67%,平均相对误差为4.30%,平均绝对百分比误差为0.073%。说明遗传控制算法和MCGS的有机结合对废水处理过程可以实现有效的控制。该控制系统可以代替传统的造纸废水处理人工操作,对造纸废水处理进行自动控制,实现对造纸废水的有效处理。

参考文献:

[1] Benny K D,Datta G L. Controlling green sand mould properties using artificial neural networks and genetic algorithms—a comparison[J]. Applied Clay Science,2007,37:58-66.

[2] Kuo Jan-tai,Wang Ying-yi,Lung Wu-seng. A hybrid neural-genetic algorithm for reservoir water quality management[J]. Water Research,2006,40:1367-1376.

[3] 杨金明,吴捷,钟丹虹. 多目标优化问题中一种改进的遗传算法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2001,29(12):65-67.

[4] MU Yang,YU Han-qing. Simulation of biological hydrogen production in a UASB reactor using neural network and genetic algorithm[J]. International Journal of Hydrogen Energy,2007,32:3308-3314.

[5] Lavric V,Iancu P,Plesu V. Genetic algorithm optimisation of water consumption and wastewater network topology[J]. Journal of Cleaner Production,2005(13):1405-1415.

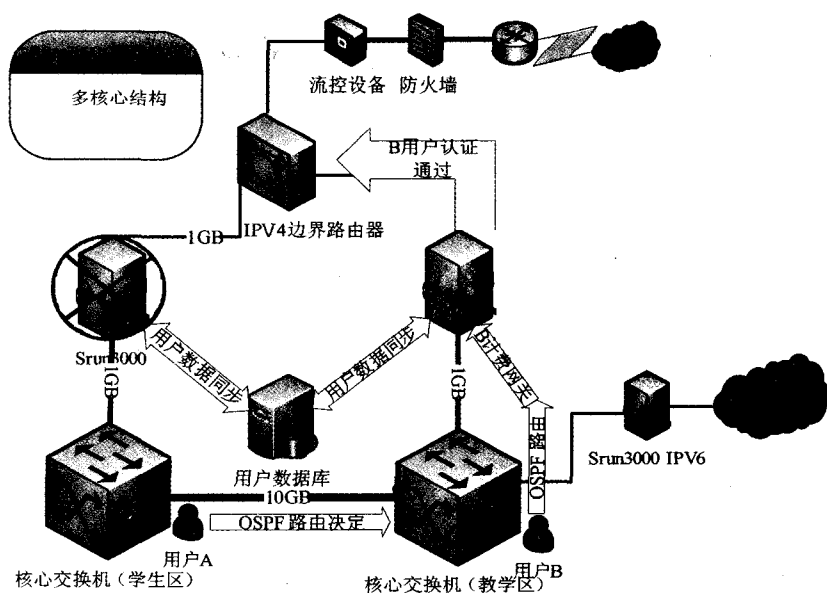


图4 计费网关系统异常运行模式

4 结束语

文中提出的架构和目前的运行方案相比,出口核心交换机从一台增加为两台,甚至可以为多台,减小了出口核心交换机的负载;计费网关从一个扩展为两个,或者多个,实现了计费网关的冗余性和互为备份能力,使得任一核心交换机或者计费网关出现故障时,将不影响用户的上网,保障了校园网出口链路的稳定性。

在未来校园网的规模不断扩大,带宽增加到几个千兆,或是万兆的时候,整个校园网会呈现多种接入模式并存,学生区会呈现类似运营商的认证模式(PP-PoE),教学区采用 Portal 认证(网关),涉密区域包含无线网^[10]采用 802.1x 认证,整个网络统一采用 Radius^[11]+网关的计费^[12],迎合不同用户的需要。

参考文献:

- [1] RFC3580. IEEE 802.1X Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)[S]. 2003.
- [2] RFC2516. A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE) [S]. 1999.
- [3] RFC3539. Authentication, Authorization and Accounting (AAA) Transport Profile[S]. 2003.
- [4] 张涛. 校园网部署集中式身份认证的利弊探讨[J]. 科技资讯, 2009(21):18-21.
- [5] 谭跃生, 张晓琳, 陶格图, 等. 基于 linux 的网关计费系统关键技术研究[J]. 内蒙古大学学报, 2003, 34(4):458-461.
- [6] 苏红军. 基于 WEB 方式的网络接入认证技术实现研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2004.
- [7] 罗伟雄, 时东晓, 刘 岚. 校园网多出口路由优化方案[J]. 计算机应用, 2009, 29(6):41-43.
- [8] 白丽媛, 金培莉, 岳江红. 分布式认证与计费系统在校园网中的研究与应用[J]. 中山大学报(自然科学版), 2009, 48(增刊):75-77.
- [9] 邹宗惠, 唐学文, 肖书成, 等. 校园网计费系统的研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(1):132-134.
- [10] Tseng Yuh-Min, Yang Chou-Chen, Su Jiann-Haur. Authentication and Billing Protocols for the Integration of WLAN and 3G Networks[J]. Wireless Personal Communications, 2004, 29(3-4):351-366.
- [11] RFC2866. RADIUS Accounting[S]. 2000.
- [12] 田志英, 廖晓群, 赵安新. 校园网认证计费系统的研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(5):202-206.

(上接第 21 页)

- [6] Chang N B, Chen W C, Shieh W K. Optimal control of wastewater treatment plants via integrated neural network and genetic algorithms[J]. Civ Eng Environ Syst, 2001(18):1-17.
- [7] Pai T Y, Tsai Y P, Loh H M, et al. Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent[J]. Computers and Chemical Engineering, 2007, 31:1272-1281.
- [8] 田 奕, 乔俊飞. 基于遗传算法的 BOD 神经网络软测量[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3):127-133.
- [9] 张烈平, 牛秦洲, 敖茂尧. 基于 OPC 的 MATLAB 与 MCGS

实时通讯的实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(21):54-55.

- [10] 胡剑杭, 陈 冲. 基于 OPC 技术的 MATLAB 实时过程控制系统[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2008, 36:105-109.
- [11] 李安伏, 崔亚量. 基于 OPC 的 Matlab 与组态王的数据通信[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(7):113-115.
- [12] The Math Works Inc. OPC Toolbox User's Guide [EB/OL]. 2004-10[2010-07-17]. http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/opc/opc.pdf.