

6-1-2020

Modeling and Simulation of Power Communication Networking Based on Quality of Service

Xueyi Zhang

Electrical and Information Engineering College, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

Juhui Gu

Electrical and Information Engineering College, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

Meiqin Zhou

Electrical and Information Engineering College, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation of Power Communication Networking Based on Quality of Service

Abstract

Abstract: For the complex network topology and channel time-varying characteristics of power line carrier communication in low voltage distribution grid, there is a phenomenon of slow convergence and stagnation when solving the routing problem with traditional ant colony algorithm. The algorithm used is easy to fall into premature and local optimization. *An automatic networking algorithm based on transmission delay and the load factor of the evaluation factors was proposed and a genetic algorithm was joined at a later stage.* The optimal solution was obtained by using the improved crossover operators, and the convergence of optimal algorithm solution was accelerated by mutation operators. A logical topology of power line communication network combining with QoS requirements was established. MATLAB simulation experiments show that the communication performance has been improved by the new algorithm and the QoS routing problems of power communication have been solved.

Keywords

power, communication network, quality of service, hybrid ant colony and genetic algorithm, simulation

Recommended Citation

Zhang Xueyi, Gu Juhui, Zhou Meiqin. Modeling and Simulation of Power Communication Networking Based on Quality of Service[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(7): 1605-1610.

一种支持 QoS 的电力通信组网建模与仿真

张学毅, 谷聚辉, 周美琴

(湖南工业大学电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对低压配电网电力载波通信网络复杂及信道时变等特点, 传统蚁群算法在解决路由问题时, 存在收敛过慢和停滞现象, 算法容易陷入局部最优。提出了一种以传输时延和负载为评价因子的自动组网算法, 在蚁群算法后期加入遗传算法, 利用改进的交叉算子获得最优解, 变异算子加速算法向最优解收敛。模拟建立电力通信网络拓扑结构, 结合 QoS 路由要求, 通过 MATLAB 仿真, 验证了该算法通信性能得到改善, 在一定程度上解决了电力通信 QoS 路由问题。

关键词: 电力; 通信网络; 服务质量; 混合蚁群遗传算法; 仿真

中图分类号: TN91

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 07-1605-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201707027

Modeling and Simulation of Power Communication Networking
Based on Quality of Service

Zhang Xueyi, Gu Juhui, Zhou Meiqin

(Electrical and Information Engineering College, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: For the complex network topology and channel time-varying characteristics of power line carrier communication in low voltage distribution grid, there is a phenomenon of slow convergence and stagnation when solving the routing problem with traditional ant colony algorithm. The algorithm used is easy to fall into premature and local optimization. An automatic networking algorithm based on transmission delay and the load factor of the evaluation factors was proposed and a genetic algorithm was joined at a later stage. The optimal solution was obtained by using the improved crossover operators, and the convergence of optimal algorithm solution was accelerated by mutation operators. A logical topology of power line communication network combining with QoS requirements was established. MATLAB simulation experiments show that the communication performance has been improved by the new algorithm and the QoS routing problems of power communication have been solved.

Keywords: power; communication network; quality of service; hybrid ant colony and genetic algorithm; simulation

引言

由于智能电网低压电力线载波通信 (Low

voltage power line communication, LV-PLC) 网络存在强干扰、高衰减、多径时变等特性, 其通信质量不理想^[1]。以往的研究主要从物理层及数据链路层上做出改进, 无法从根本上解决低压电力线的通信质量问题, 必须采用更高层次的网络层路由协议。

传统的蚁群算法 (ant colony system, ACS) 采用正反馈和自适应机制加快算法的收敛速度, 但算法



收稿日期: 2015-07-31

修回日期: 2015-12-14;

作者简介: 张学毅 (1966-), 男, 湖南益阳, 硕士, 教授, 研究方向为电工理论与新技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 1605 •

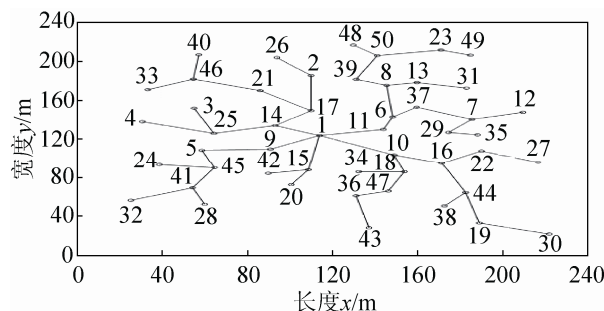
容易陷入局部最优; 分簇路由算法以扩大搜索范围为代价来获取更多的最短路径, 加大了算法搜索时间, 降低了最优路径的搜索效率^[2]; 洪泛算法采取网络中所有节点都参与通信^[3], 这样会使网络负荷增大, 极大地降低网络通信效率。对于存在物理拓扑复杂和干扰强的低压电力载波通信网络, 这些算法在解决网络路径最优问题上具有一定的局限性^[4]。本文在对已有路由算法的基础上进行分析, 并根据 LV-PLC 的特点, 在 QoS(Quality of Service)路由约束条件下, 提出一种动态混合蚁群遗传算法(Dynamic hybrid ant colony and genetic algorithm, DH_ACGA), 将信道延时和节点负载作为算法目标优化函数的评价因子, 并对以个体适应度函数为评价因子的遗传算法(Genetic Algorithm, GA)的交叉算子进行改进, 提高电力通信网络路径寻优能力。

本文从电力通信网络拓扑出发, 模拟建立了一个逻辑通信网络, 考虑到电力通信 QoS 路由中所要求的跳数、带宽、延时、误码率、丢包率、干扰等指标的影响, 仿真了多目标约束条件^[5]下的 DH_ACGA, 在组网性能上与 ACS 算法进行比较。

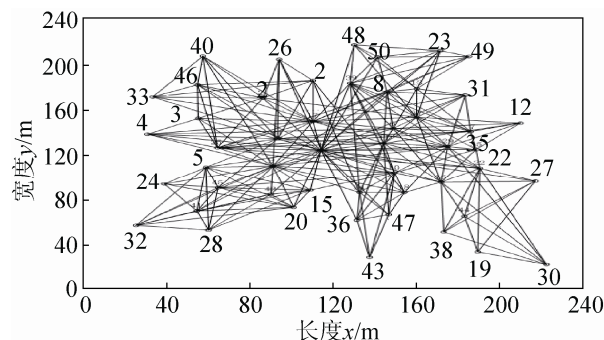
1 网络逻辑拓扑结构

在低压配电网电力通信网络中, 电气设备运行特点决定了节点信道和网络拓扑的时变特性^[6]。对于相间没有耦合的低压配电网三相电路, 由于三相之间可以看成是相对独立的逻辑关系, 取其中一相的逻辑拓扑结构作为研究对象, 设计了一个基于树形和星形网络的电力通信网络逻辑拓扑结构, 如图 1 所示。

选取某地智能电网覆盖区域的一部分电力通信网络, 测试范围是 $(240 \times 240) \text{m}^2$, 在电网二次侧随机布置 50 个节点如图 1(a)所示。设节点号 1 是中心节点, 节点有效通信距离为 30 m, 这 50 个节点可进行点对点通信, 其生成的逻辑拓扑结构如图 1(b)所示。低压配电网电力通信网络是一个混合拓扑结构。由图可以看出, 中心节点所承受的信息转发次数最大, 即节点的度比较大。



(a) 电力线通信网络物理拓扑



(b) 电力线通信网络链路逻辑拓扑

图 1 低压配电网通信网络物理拓扑和逻辑链路拓扑结构
Fig. 1 Physical and logical link topology of low voltage distribution communication network

在实际测试中, 电力线通信网络数据链路的连接能力和范围很有限, 除与网络通信所采用的设备、网络负载、信道状态等因素有关外, 还与节点的度和有效通信距离有关, 当节点发生变化时, 对整个网络的逻辑拓扑结构影响也很大。

2 DH_ACGA 算法

电力线通信网络拓扑结构易变, 尤其是在大规模网络中节点比较多, 为了保证逻辑链路的连通, 要求整个网络有自适应能力。当网络中某些节点出现故障或中断的情况下, 网络自身能够及时修复并重新构造网络拓扑能力, 保证通信网络可靠, 提出动态 DH_ACGA 算法。

根据电力线通信特点, 在 ACS 算法后期加入具有全局优化的遗传算法, 能够弥补 ACS 算法的不足, 交叉算子因其全局搜索能力而作为主要算子, 变异算子使遗传算法具有局部的搜索能力, 当利用交叉算子获得的解接近最优解时, 利用变异算

子可以加速算法向最优解收敛。

在 GA 算法中, 适应度函数一般是依据需要满足的约束条件和代价函数的组合来构造的, 对于多约束的电力通信 QoS 路由而言, 将 DH_ACGA 算法的适应度函数描述为

$$F(z) = \varphi_1 \cdot g_{\text{delay}}(z) + \varphi_2 \cdot h_{\text{load}}(z) \quad (1)$$

式中: φ_1 , φ_2 为函数权重, $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$, 可以通过调整这两个参数的值, 来改变节点延时和负载的比重; $g_{\text{delay}}(z)$ 为网络延时函数, 其表达式为

$$g_{\text{delay}}(z) = \frac{\text{delay}_{\max} - \text{delay}(Z(s, d))}{\text{delay}_{\max}} \quad (2)$$

$$\text{delay}(Z(s, d)) = \sum_{e \in Z(s, d)} \text{delay}(e) \quad (3)$$

$\text{delay}_{\max}$ 为网络延时最大值, $Z(s, d)$ 为网络中源节点 s 到目的节点 d 的路径, $\text{delay}(e)$ 为从源节点 s 到目的节点 d 的其中一条链路 e 的时延, $h_{\text{load}}(z)$ 为系统中节点的负载因子。

$$h_{\text{load}}(i) = \frac{1}{\lambda_i} \quad (4)$$

其中: λ_i 为网络中节点在传送信息过程中被转发的次数。

GA 算法是以路径条数为优化因子来评价目标函数的, 但对于电力通信这种复杂的通信网络而言, 还需要考虑传输时延、负载均衡、算法运行时间等通信 QoS 因素。为了使信息传输时延和路径负载因子最小, 在公式(1)的基础上, 将 DH_ACGA 算法的目标函数优化为

$$\begin{cases} \min(\varphi_1 \cdot g_{\text{delay}}(z) + \varphi_2 \cdot h_{\text{load}}(z)) \\ \text{s.t.} \begin{cases} |Z(i) - Z(j)| \leq 2 \\ \text{delay}(Z(s, d)) \leq \text{delay}_{\max} \\ h_{\text{load}}(z) \leq h_{\max} \end{cases} \\ Z = \{z_1, z_2 \cdots z_N\} \end{cases} \quad (5)$$

式中: i, j 代表相邻两节点; Z 代表整个网络的载波节点集; N 为节点个数。 $|Z(i) - Z(j)|$ 代表相邻两节点的距离, 要求网络中最小可通信距离 ≥ 2 , 这样才能保证通信可靠。

同时, 对遗传算法的交叉算子规则进行改进,

通过遗传算法后期优化, 提高 DH_ACGA 算法的处理效率。

根据路径适应度函数, 在每一轮迭代结束时, 取适应度函数 $F(Z(s, d))$ 最小值做为下一轮迭代路径选择, 这样“蚂蚁”不会因盲目选择路径而占用较长的时间。设个体适应度为 f_i , 个体被选取的概率为

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (6)$$

当选择概率给定后, 由在 $[0, 1]$ 区间产生的均匀随机数来决定个体交配, 选择概率大的个体能多次被选中, 它的遗传因子就会在种群中扩大。

在路由寻优过程中, 为了保证任意两个父代较好的基因能够遗传给后代, 这里对算法的交叉算子进行改进, 根据路径之间相似度的大小来决定算法的交叉操作, 其相似度 S 表达式为

$$S = \frac{\text{length}(e_{ij})}{l_{\text{route}}}(i, j \in n \text{ 且 } i \neq j) \quad (7)$$

式中: $\text{length}(e_{ij})$ 是路径 l_{route} 的其中一段链路; i, j 为路径中的两个邻接节点。在蚁群算法结束时, 整个逻辑通信网络产生了很多较优路径, 但这些路径中有一些是无用的。将这些路径建立一个路径群 Z_{sxt} , 只保留相似度高的路径, 通过 Z_{sxt} 中的链路进行交叉操作, 保留父代中相同的子路径, 见图 2。

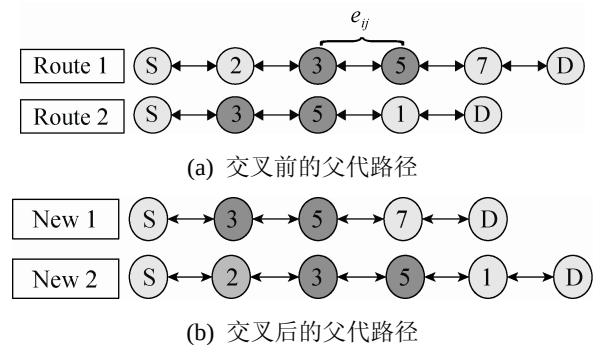


图 2 遗传交叉算子原理

Fig. 2 The principle of genetic crossover

根据交叉算子规则, 对图 2(a)中的父代路径进行交叉, 得到图 2(b)的子代路径。对比上述两代路径, 找出最优路径保留下来。这种利用路径的相似

度进行有选择性的交叉,减少了路径负载,缩减了信息传输时间。

在路径交叉后产生的新群体中选取一条路径,随机选择路径中的一个节点作为变异节点;然后,以适应度函数为指标,将适应度高的链路保留下来,舍去那些冗余链路。

为了提高算法的运行效率,这里提出蚁群算法和遗传算法融合条件,通过传输延时和算法迭代次数来控制算法的切换和结束。设蚁群算法迭代次数为 Na , 要求 $Na \geq Na_{\max}$ 时蚁群算法切换到遗传算法, $Na_{\max}$ 为蚁群算法最大迭代次数。整个系统算法结束的条件为

$$\begin{cases} Ng > Ng_{\max} \\ d_{\text{delay}}(Z(s,d)) > \text{delay}_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

式中: Ng 为遗传算法迭代次数; $Ng_{\max}$ 为遗传算法最大迭代次数; $d_{\text{delay}}(Z(s,d))$ 为系统信息传输延时; $\text{delay}_{\max}$ 为最大传输延时。满足上述条件时,输出最优路径,算法结束。

DH_ACGA 算法交叉操作程序

```
function [INTERSECT]=intercross(INTERSECT,D,Pc)
[s,t]=size(INTERSECT); %n*N
INTERSECT1=INTERSECT;
for i=1:2:s
    if Pc>rand&&i<=s-1
        crosspoint=randperm(t-1);
        if crosspoint(2)<crosspoint(1)
            p=crosspoint(2);
            crosspoint(2)=crosspoint(1);
            crosspoint(1)=p;
        end
        middle=zeros(1,crosspoint(2)-crosspoint(1));

        middle=INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2));

        INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))=INTERSECT(i+1,crosspoint(1)+1:crosspoint(2));

        INTERSECT(i+1,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))=middle;
        for j=1:crosspoint(1)
            while
                find(INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))==INTERSECT(i,j))
```

```
zhi=find(INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))=
==INTERSECT(i,j));

y=INTERSECT(i+1,crosspoint(1)+zhi);
        INTERSECT(i,j)=y;
    end
end

for j=crosspoint(2)+1:t
    while
        find(INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))==INTERSECT(i,j))

        zhi=find(INTERSECT(i,crosspoint(1)+1:crosspoint(2))=
==INTERSECT(i,j));

        y=INTERSECT(i+1,crosspoint(1)+zhi);
            INTERSECT(i,j)=y;
        end
    end
end
for i=1:s
    if
        myLength(D,INTERSECT1(i,:))<myLength(D,INTERSECT1(i,:))
    end
end
end
end
```

3 算法仿真及可行性分析

结合低压配电网电力线载波通信网络逻辑拓扑,从算法的快速性、鲁棒性、收敛性考虑,利用 MATLAB 对 DH_ACGA 算法进行编程仿真,并将 DH_ACGA 算法与 ACS 算法在接近现实环境的仿真模型上进行测试与比较。

3.1 仿真参数设置

利用图 1(b)中生成的 240 m×240 m 的范围内电力通信逻辑拓扑网络,在网络中拟布置 50 个通信节点。利用蚂蚁从中心节点寻找目的节点的最优路径为仿真过程,从中心节点 1 发出 10 只蚂蚁,节点 30 代表蚂蚁最终接收数据的目的节点,算法在每次迭代过程中,不改变每个节点的处理时延。整个算法仿真实验设置参数如表 1 所示。

表 1 仿真实验主要参数配置

Tab. 1 The main simulation parameters of experiment		
参数名称	参数配置	参数含义
n	50	网络中节点个数
α	1	信息素权重因子
β	1	信息素启发因子
q_0	0.5	路径搜索方式概率阈值
ρ	0.02	全局信息素挥发系数
τ_0	10	信息素初值
ζ	0.04	局部信息素挥发系数
Q	100	控制参数
φ_1	0.6	目标函数时延权重因子
φ_2	0.4	目标函数负载权重因子
$Na_{\max}$	50	蚁群算法最大迭代次数

3.2 节点延时

设置网络中节点的有效通信距离为 30 m, 仿真出网络中各个节点的度(指网络中和该节点相关联的边的条数)如图 3(a)所示; 节点延时与节点的度密切相关, 整个电力线通信网络节点延时分布如图 3(b)所示。

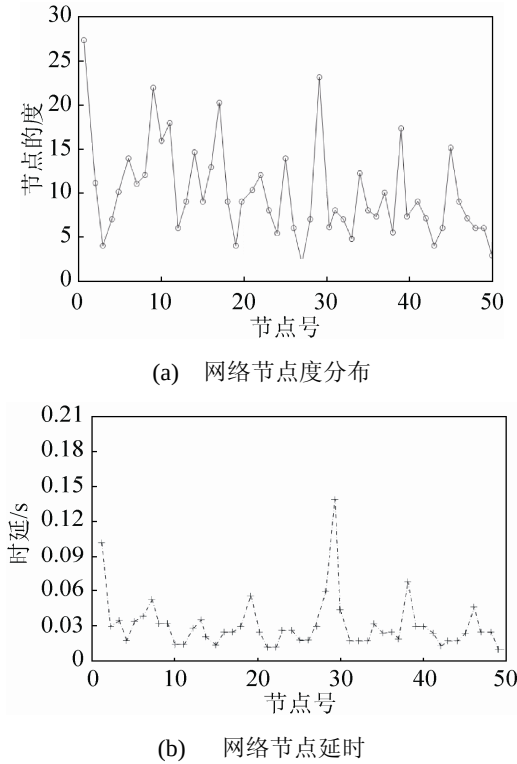


图 3 电力线通信网络中节点的度和延时分布
Fig. 3 The distribution of nodes degree and delay in a power line communication network

3.3 信息传输平均延时

信息在传送过程中都存在延时, 经过改进后的 DH_ACGA 算法与 ACS 算法的信息传输延时进行比较, 如图 4 所示。

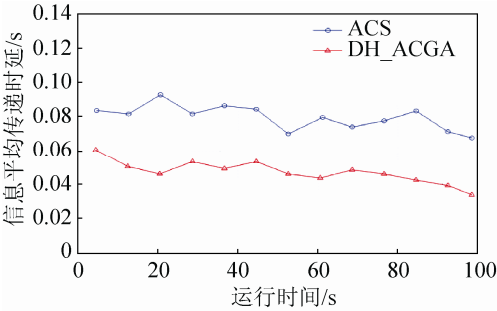


图 4 网络信息平均传输延时
Fig. 4 Average transmission delay of network information

从图 4 中可以看出, 不同时段两种算法信息传输延时各不相同, ACS 算法的延迟较大, 且下降速度比较慢, 而 DH_ACGA 算法较 ACS 算法表现出了较好的性能。

3.4 网络负载均衡性

网络负载均衡是衡量一个网络可靠性的一个重要指标, 从图 5 仿真结果可以看出, ACS 算法的网络负载均衡情况差, 节点之间的均衡情况不一致, DH_ACGA 算法的网络通信负载量较 ACS 算法有了降低。由于原始 ACS 算法组网时, 网络中节点负载量在算法中没有体现, 网络节点负荷差异比较大, 有些节点呈现出高负荷, 负荷过重容易造成节点通信失败。而 DH_ACGA 算法的个体适应度值对较优路径的选取有很大的优越性, 平衡了节点负载, 使负载均衡性较好。

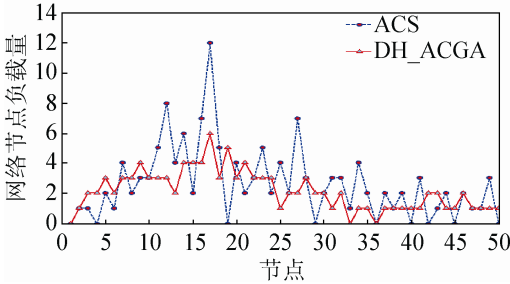


图 5 电力线通信网络负载均衡情况
Fig. 5 A case of load balancing in PLC network

3.5 目标评价

从图 6 可以看出, DH_ACGA 算法较 ACS 算法有较好的优化性能, 经过 12 次迭代, DH_ACGA 算法的收敛结果更接近最优解, 表明了算法处理速度快、性能好。

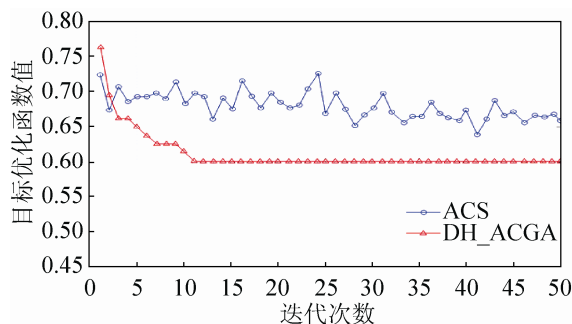


图 6 DH_ACGA 算法和 ACS 算法性能比较

Fig. 6 Contrast about performance of DH_ACGA algorithm and ACS algorithm

4 结论

本文介绍基于延时和负载为评价因子的 DH_ACGA 算法, 与 ACS 算法进行仿真对比分析, 得出以下结论:

(1) 由于低压配电网通信拓扑易变, 很容易造成通信效率低, 采用 DH_ACGA 算法能进行动态路由寻优;

(2) 在同一个通信网络拓扑中, 分析两种算法的负载均衡, DH_ACGA 算法能够很好地平衡节点负载, 减小了节点的负担;

(3) 基于节点逻辑通信网络拓扑, 假设发送若干只“蚂蚁”, 设置一个目标节点, DH_ACGA 算法能够以较小的迭代次数寻找到目标节点, 而且 DH_ACGA 算法在网络中某些节点失效的情况下, 仍能达到目标节点, 具有很好的网络自愈能力。

从仿真分析可以证明 DH_ACGA 算法适用于 LV-PLC 网络, 并能提供满意的电力通信路由 QoS。但该算法也有不足之处, 存在着时间和空间复杂度高的问题; 同时, LV-PLC 技术还面临着环境恶劣, 网络复杂, 噪声污染, 电磁干扰等问题, 导致通信

可靠性降低^[7], 这将给 LV-PLC 技术提出更大挑战。

参考文献:

- [1] 刘晓胜, 戚佳金, 宋其涛, 等. 基于蚁群算法的低压配电网电力线通信组网方法 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 71-76. (Liu Xiaosheng, Qi Jiajin, Song Qitao, et al. Method of power line communication networking of low voltage distribution network based on ant colony algorithm [J]. Proceeding of the CSEE, 2008, 28(1): 71-76.)
- [2] 戚佳金, 刘晓胜, 徐殿国, 等. 低压电力线通信分簇路由算法及网络重构 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(4): 65-71. (Qi Jiajin, Liu Xiaosheng, Xu Dianguo, et al. Clustering routing algorithm and network reconstruction for low voltage power line communication [J]. Proceeding of the CSEE, 2008, 28(4): 65-71.)
- [3] Degardin V, Lienard M, Degauque P. Optimisation of equalization algorithm for power line communication channel [J]. Electronics Letters (S0013-5194), 2003, 39(5): 483-485.
- [4] 翁理国, 纪壮壮, 夏旻, 等. 基于改进多目标粒子群算法的机器人路径规划 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(12): 2892-2898. (Weng Ligu, Ji Zhuangzhuang, Xia Min, et al. Robot path planning based on improved multi-objective particle swarm optimization [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2014, 26(12): 2892-2898.)
- [5] 李积英, 党建武. 基于量子蚁群算法的图像分割 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(4): 926-930. (Li Jiying, Dang Jianwu. Image segmentation based on quantum ant colony algorithm [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2014, 26(4): 926-930.)
- [6] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135. (Hu Jiangyi, Zhu Enguo, Du Xingang, et al. Application status and development trend of electricity information collecting system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(2): 131-135.)
- [7] 周孝信, 鲁宗相, 刘应梅, 等. 中国未来电网的发展模式和关键技术 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 4999-5008. (Zhou Xiaoxin, Lu Zongxiang, Liu Yingmei, et al. China's future power grid development model and key technology [J]. Proceeding of the CSEE, 2014, 34(29): 4999-5008.)