

## 基于蚁群算法的变电站视频监控联动方案优化设计

陈天恒<sup>1</sup>, 杨晓静<sup>1</sup>, 王伟力<sup>1</sup>, 宋国旺<sup>1</sup>, 袁中琛<sup>2</sup>, 王瑶<sup>2</sup>, 高圣源<sup>3</sup>, 王淑敏<sup>3</sup>

(1. 国网天津市电力公司, 天津 300010; 2. 国网天津电科院, 天津 300010; 3. 北京用尚科技有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 为有效监视变电站现场运行及保护设备状态, 实现监视设备的及时可优化调控, 在人为干预的基础上, 采用蚁群分析算法来建立变电站现场摄像头监视设备之间的联动监视逻辑, 规划被监视对象的采集内容, 编制多摄像头关联关系映射表。同时, 该算法借助电网一次设备接线图形的拓扑连接关系和监视信号级别属性, 实现以上数据分析和算法迭代, 积累蚁群算法中的信息素浓度。依据视频监控系统监控命令, 通过摄像头联动模型优化和仿真分析, 被观察对象当前状态的最优可视效果可以快速且稳健地呈现。

**关键词:** 视频监控; 蚁群算法; 映射表; 信息素; 多摄像头联动

### Optimization design of substation video monitoring system based on ant colony algorithm

CHEN Tianheng<sup>1</sup>, YANG Xiaojing<sup>1</sup>, WANG Weili<sup>1</sup>, SONG Guowang<sup>1</sup>, YUAN Zhongchen<sup>2</sup>,  
WANG Yao<sup>2</sup>, GAO Shengyuan<sup>3</sup>, WANG Shumin<sup>3</sup>

(1. State Grid Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300010, China; 2. State Grid Tianjin Electric Power Research Institute, Tianjin 300010, China; 3. Beijing Yongshang PowerSoft LTD., Beijing 100085, China)

**Abstract:** In order to effectively monitor operation and protection equipment state, and timely realize the optimal control of monitoring equipment, based on human intervention, the ant colony algorithm is adopted to establish the logistic linkage, design the monitoring equipment collection content, compile the mapping table of the multi-camera relationship among several monitoring equipment in the substation. Meanwhile, by the data analysis and iterative algorithm process of the primary equipment topological connection and monitoring signal level attributes in the power grid, the pheromone is accumulated. By the monitor command of video surveillance system, the current monitoring equipment state is fast and steadily observed through the optimization and simulation of camera linkage model.

**Key words:** video surveillance; ant colony algorithm; mapping table; pheromone; multi-camera linkage

中图分类号: TM77

文章编号: 1674-3415(2016)02-0134-06

## 0 引言

随着变电站智能化程度不断提升, 为满足变电站现场一、二次设备的运行状况智能化统计分析及后期决策的需要, 在电力及保护设备周围需要加装视频监控设备且要求视频监控设备可以短时间内实现监视目标的锁定工作。目前, 主要借助“不同视频监控设备IP号段+上位机视频监控应用软件”的方式来切换和控制视频监控设备, 前期而言这种相对静态视频现场录制回传的方式可以基本满足简单任务下的现场监控目的。但是, 目前的技术应用层面缺乏视频监控设备系统自身的可优化调控的技术研究和实现。通常情况下, 现场视频采集系统承担的采集任务在摄像头数量一定的情况下, 其局部的服

用程度不断加深<sup>[1]</sup>。仅仅依靠人机交互的操作来调控部署在空间资源有限的视频监控设备, 这种方式就现在发展趋势而言, 是不具有视频监控系统纵向深层次优化和横向平台扩展应用的设计理念。

为了合理调配变电站现场视频采集资源<sup>[2]</sup>, 同时保障现场视频采集系统的灵活可复制性和远程监控平台的相对独立且稳健性, 采用多摄像头联动来获取监控视频的方式越来越得到重视和应用<sup>[3-4]</sup>。

实现视频监视信息联动的手段在于摄像头监视终端的现有监视数据的二次开发和映射关联, 同时借助蚁群仿生学算法来实现变电站现场视频监控系统内部可优化调控的效果, 降低人的劳动工作强度, 最终将人的主观能动意识移植到变电站视频监控系统, 提升系统自身的智能化水平。

## 1 基于蚁群的变电站视频监控

### 1.1 变电站视频监控现状分析

目前, 变电站视频监控技术正向人工智能视频监控领域迈进<sup>[5]</sup>。人工智能视频监控主要是按照自然人的意图、安全需要而开展的计算机通信领域的技术。考虑变电站现场的实际工作环境, 采用视频监控代替人工监控的方式得到了广泛的推广<sup>[6-7]</sup>。

变电站视频监控系统主要功能如下: 监视变电站设备的运行状态, 例如断路器、隔离开关的实时状态; 响应调控中心的监控命令; 视频采集设备的联动跟踪和事件定位。

### 1.2 基于蚁群算法的调度问题

蚁群算法实质是一种以实现最优化目标为目的, 在动作行为上设定限制条件, 进而获取一种自我学习和分析的实施方案<sup>[8]</sup>。

国内针对蚁群算法的集中成果主要体现在算法本身优化和具体应用方面<sup>[9]</sup>。其中, 蚁群算法在调度方面的研究成果主要应用在生产调度方面的理论研究和模型分析上, 但具体应用层面上的鲁棒性、普适性的考虑欠佳。

### 1.3 本文主要研究内容和创新点

本文主要的研究对象是应用于多摄像头视频监控联动的蚁群算法, 利用蚁群算法模型, 引入干预因子的逻辑思想, 实现变电站视频监控的多摄像头联动逻辑优化。

本文主要的研究内容:

- (1) 多摄像头间的联动工作机理建立;
- (2) 基于视频监控联动的蚁群数学模型;
- (3) 仿真模型分析和效果评估。

本文创新点:

基于监控命令的蚁群算法层级式干预因子的设定和应用。

## 2 多摄像头间联动

多摄像头联动工作是基于调控中心工作指令, 按照电网一次接线图的网络拓扑关系, 依照监控信号级别依次对现场电力设备的进行视频采集工作。

### 2.1 确定拍摄对象和位置

通过解析调控中心的调度监控命令, 识别被监控对象ID; 再由ID唯一标示, 识别一次设备还是二次设备, 并通过现有的电网一次接线图中的信息, 检索被监视对象的连接位置并分析电气网络拓扑属性。

下面将按照电压等级, 建立被监视对象的采集内容和多摄像头关联关系映射表, 如表1所示。通过

被监视对象的具体监视内容和网络连接位置, 将多个摄像头以分组的形式进行有针对性的视频采集。摄像组与组之间具有协调联动的功能, 结合电网拓扑结构接线图和现场被检测对象的周围环境, 摄像头与摄像头之间通过自我协商的方式可以在同组内或不同组内实现定位被监视对象最优联动方案。

表1 被监视对象的采集内容和多摄像头关联关系映射表  
Table 1 Mapping relationship between the capture content of the object-monitored and multi camera

序号	电压等级/kV	被监视对象	关联的摄像头群组
1	35	电容器组	VT1
2	35	抵抗	VT2
3	35	PT	VT3
4	35	站用变	VT4
5	35	断路器	VT5
6	35	隔离开关	VT6
7	220	避雷器表计	VT7
8	220	主导流部分(触头、线夹)	VT8
9	220	断路器接线板	VT9
10	220	SF6 压力表	VT10
11	220	隔离开关	VT11
12	220	主导流部分	VT12
13	220	CT	VT13
14	220	PT	VT14
15	500	避雷器	VT15
16	500	主导流部分	VT16
17	500	断路器本体	VT17
18	500	主导流部分	VT18
19	500	SF6 压力表	VT19
20	500	CT	VT20
21	500	PT	VT21
22	主变	主变本体	VT22
23	主变	各套管出线	VT23
24	主变	油位计	VT24
25	主变	油温表	VT25
26	主变	瓦斯继电器	VT26

### 2.2 关联层级式拍摄关系

由于监控信号的类别是分等级的, 通常情况下, 监控信号优先等级从高到低的顺序是事故、告警/异常、变位、提示信号。多摄像头联动监控逻辑依据监视对象所述的信号等级, 进行层级式拍摄。

所谓层级式拍摄是指同属一个组别内多个摄像头同一时间内承担两个及以上的拍摄任务时, 若同属同一监控信号级别的多个被拍摄对象, 由目前的承担拍摄任务摄像组向其他空闲的摄像组发送请求消息, 然后由其他摄像组承担需要分担的拍摄任务; 若属于不同监控信号级别的多个被拍摄对象,

由同一个摄像组按照信号级别逐一完成拍摄任务，或者将次等监控信号级别的拍摄任务分担给其他拍摄组。具体层级式拍摄关系如图1所示。

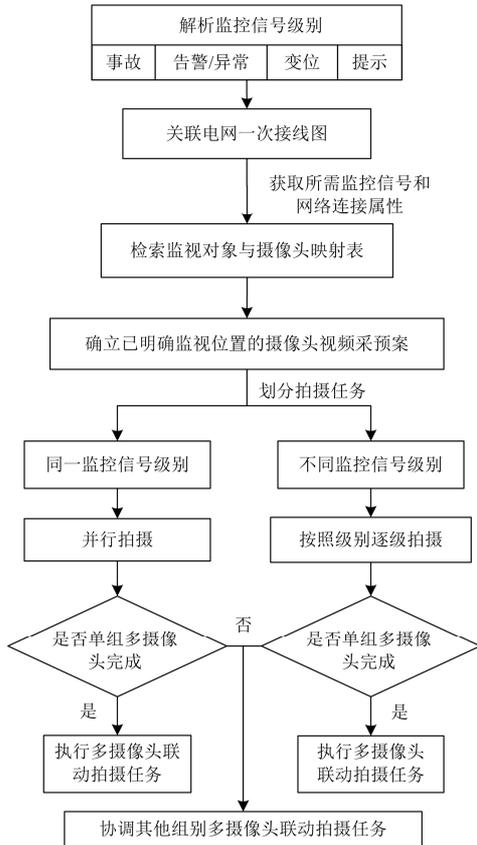


图 1 层级式拍摄关系流程  
Fig. 1 Flow chart of hierarchical monitor relationship

### 3 基于视频监控联动的蚁群模型

通过对多摄像头的监视设备和监视对象数据级分析和层级式拍摄关系模型流程构建，建立了将表现现象级的逻辑关系转化为表征原理级的数学关系的关联通道，利用蚁群算法优化路径的原理，实现视频监控联动过程中自动优化调控的过程。下面，首先通过引入干预因子来限制摄像头实际动作的优先权；然后设定摄像头联动模型参数来约束摄像头自身动作行为；最后基于摄像头联动的蚁群行为达到变电站视频监控系统可优化调控的目的。

#### 3.1 引入干预因子

本文采用量化分析，引入摄像头进行视频采集之前的行为动作干预因子  $\rho$ ， $0 \leq \rho \leq 1$ 。 $\rho$  受监控信号的级别、信号所附设备的空间位置、组内/外多摄像头协商机制制约，具体制约关系如下。

依据监控信号级别优先级别划分：事故 > 告警/异常 > 告知 > 提示。通过实际工作统计可知，变电

站一、二次设备发生故障时，事故信号的查看几率为100%，由事故引发的告警或未知异常查看记录为95%，告知信号通常查看几率为50%，提示信号一般日志记录回查即查看几率一般为15%。

按照信号所附设备的空间位置，通常情况下摄像角度影响到摄像头的动作优先级别。设备所处相对空间中的主视图视角的选择几率最高，为100%；左视图与右视图视角的选择几率次高，同为60%；仰视图与俯视图视角的选择几率第三高，同为50%；后视图视角的选择几率最低，为20%。

组内/外多摄像头协商机制，假设共计  $n$  个摄像头共同作用下，即就摄像头单独个体而言。未参与协商的工作摄像头优先采集视频几率最高，为100%；参与协商的工作摄像头采集视频优先几率为  $(n-i)/n$ ， $i$  表示与  $i$  个摄像头进行通信并实施视频采集。

汇总以上制约关系，获取  $\rho$  的数值， $\rho = a * b * c$ 。其中， $a$  代表受监视对象的干预影响值， $b$  代表摄像角度的干预影响值， $c$  代表多个摄像头参与通信下的干预影响值。计算  $\rho$  值的模型设计图，如图2所示。

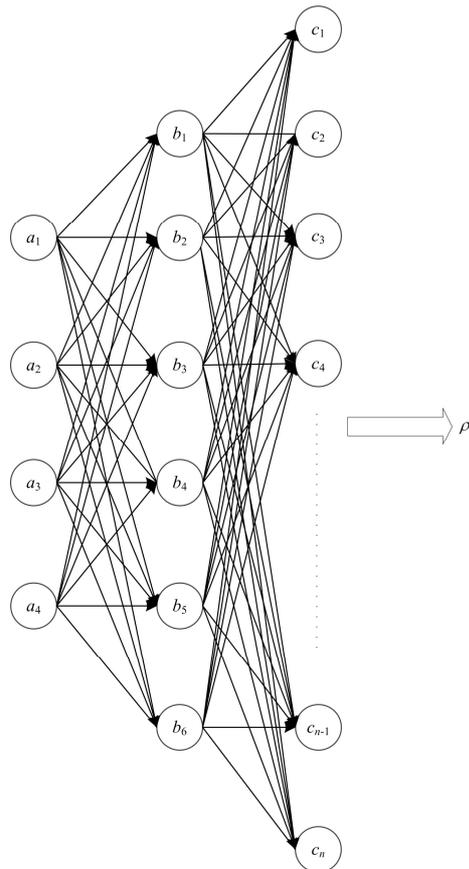


图 2 干预因子  $\rho$  计算过程设计  
Fig. 2 Calculation process of the interference factor  $\rho$

其中,  $a_i$ 表示监控信号等级查看几率值,  $b_i$ 表示摄像角度选择几率值,  $c_i$ 表示摄像头优先参加几率值。例如, 若①被监视对象的信号级别是事故信号, 即  $a=1$ ; ②被监视对象的摄像角度为相对空间下的主视图, 即  $b=1$ ; ③被监视对象的视频摄像头未与其他摄像头进行通信而是直接采集视频, 即  $c=1$ ; 则此时的  $\rho$  值最大, 即  $\rho=a*b*c=1$ 。

$\rho$  值越高, 在变电站视频监控联动中, 摄像头动作的优先权就越高。

### 3.2 抽象多摄像头联动的蚁群模型

在多摄像头联动方面中, 每一个摄像头的行为动作受被监视对象触发, 摄像头之间借助通信建立互联, 摄像头的姿态调整受干预因子影响。

针对变电站视频联动方案, 本文基于蚁群算法建立的模型遵守以下规则:

(1) 依照被监视对象的采集内容和多摄像头关联关系隐射表, 明确其关联关系。

(2) 该蚁群算法模型中的信息素来源于监视对象和摄像头, 信息素浓度的积累来源于监控信号等级、摄像角度、摄像头优先动作三方面, 以防止信息素在局部方面的过度积累而造成的全局联动策略的损失<sup>[10-11]</sup>。

(3) 模型中的行为策略受干预因子时时进行修正。

(4) 模型中的动作执行方即摄像头彼此之间相互独立。

#### 3.2.1 设定模型参数

在视频监控联动行为中, 视频监视的信号类别为  $M$ ,  $M=\{M_i | i \in [1,4]\}$ ,  $M$  表示共有4个信号级别按由高到低可供选择; 视频摄像角度为  $A$ ,  $A=\{A_i | i \in [1,8]\}$ ,  $A$  表示视频摄像角度, 依次选择顺序为主视图、左视图、右视图、俯视图、仰视图、后视图; 联动摄像头为  $C$ ,  $C=\{C_i | i \in [1,n]\}$ ,  $C$  表示由  $n$  个摄像头组成视频监控联动组。

通过视频监控工作的开展, 按照蚁群思想的信息素  $P$  浓度不断累计<sup>[12]</sup>, 使得摄像头具备自主循迹的计算能力,  $P$  又因受层级式拍摄关系的影响, 则  $P$  可表示为  $P=P_{M_i} \odot P_{A_j} \odot P_{C_k}$ 。

构造行为策略函数  $S$ 。 $S$  一方面受  $P$  的历史因素影响, 缩短行为动作的历练过程;  $S$  另一方面受干预因子的实时刺激, 确保行为执行的准确度和稳定度以及执行效率。 $S$  的模拟蚁群行为策略函数表示为:  $S=S(P, \rho, \varphi(M, A), \omega(A, C))$ 。在行为策略函数中, 针对摄像头的联动方案,  $P$  表示积累的信息素, 用以优化辅助循迹监控目标的历史信息数据, 分别针对监控命令解析出来的监控信号级别、视频摄像相对空间角度、视频摄像联动进行局部信息的

优化和行为动作指令的强化;  $\rho$  为贯穿监控信号确定、相对空间角度选定、摄像联动执行整个过程的干预指标;  $\varphi(M, A)$  为监控信号内容与摄像头 ID 关联函数;  $\omega(A, C)$  为监事对象的相对空间位置与摄像头联动循迹的关联函数。

#### 3.2.2 构造蚁群行为

以变电站开展的视频监控工作为背景, 借助蚁群算法现有的理论支撑, 构造蚁群行为。具体开展流程如下。

基于蚁群算法的变电站视频监控摄像头联动行为:

(1) 建立  $\varphi(M, A)$  关联关系

$M$  与  $A$  为映射关系, 通过监控信号对象和级别, 映射到对应的摄像组, 获取摄像组中的每个摄像头的参数(包含摄像头的ID、视域、相对空间坐标值)。

(2) 积累  $M$  与  $A$  关联的信息素

具体  $M$  与  $A$  关联的信息素内容包含监控对象 ID、监控信号级别标记、监控信号事件发生时间戳、关联摄像头联动通信日志。

(3) 设立  $M$  的干预因子影响值

按照  $M$  的优先级, 分配  $M$  的干预因子影响值  $\rho_M$ , 按照  $\rho_M$  值启动联动动作的执行方案排序。

(4) 设立  $A$  的干预因子影响值

根据  $\rho_M$  和  $\varphi(M, A)$ , 分配  $A$  的干预因子影响值  $\rho_A$ , 按照  $\rho_A$  值检查摄像组内空间方位和视域。

(5) 建立  $\omega(A, C)$  关联关系

依据  $A$  的相对空间位置, 主要借助摄像头之间的相关关系, 实现摄像头的监控动作。

(6) 积累  $A$  和  $C$  关联的信息素

具体  $A$  与  $C$  关联的信息素内容包含摄像头ID、摄像头视域、预计目标空间点对三维空间域, 摄像头联动日志。

(7) 设立  $C$  的干预因子影响值

根据  $\rho_M$ 、 $\rho_A$  和  $\omega(A, C)$ , 分配  $C$  的干预因子影响值  $\rho_C$ , 按照  $\rho_C$  值限制摄像头联动动作。

### 3.3 数学推导和优化

通过构造的蚁群行为可知, 行为策略函数是依据了变电站监控内容下的条件约束、工作环境参数、内部关联逻辑而促成的模拟摄像头联动的数学表达式。

行为函数理论推导如下。将实际摄像头行为为联动工作量占理论摄像头行为为联动工作量的效果百分比来表示  $S$  的数值,  $S \in (0,100\%]$ ,  $S$  的行为增量变化量为时间  $t$ , 某一时刻下的行为策略表达式为

$$\int_0^t [\varphi(\rho_M + M(t), \rho_A + A(t)) + \omega(\rho_A + A(t), \rho_C + C(t))] dt$$

通过增加不同阶段摄像头联动下的干预因子,采用时间累计的形式,保障蚁群算法在变电站视频监控联动应用中灵活实用性。具体优化的效果分析见模型仿真。

#### 4 模型仿真与评估

依据本文建立蚁群算法模型,分以两种情况进行摄像头行为评估。

行为一:设定 $T_0=10\text{ s}$ ,单独摄像头行为环境相同,信息素浓度相等的情况下,有无干预因子参与的行为效果对比。

通过图3、图4的仿真图形,当摄像头动作行为效果趋近100%过程中,图3表示无干预因子的影响下,收敛到预期的摄像头动作行为的过程缓慢;图4表示有干预因子的影响下,收敛到预期摄像头动作行为的过程加快,为多摄像头联动降低了时间花销。

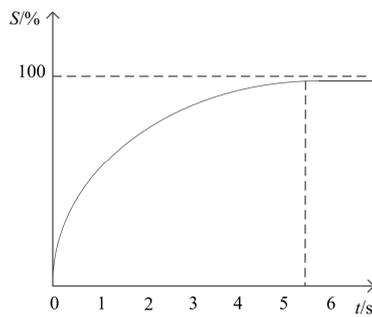


图3 无干预因子参与的单独摄像头行为

Fig. 3 Single camera behavior without intervention factors

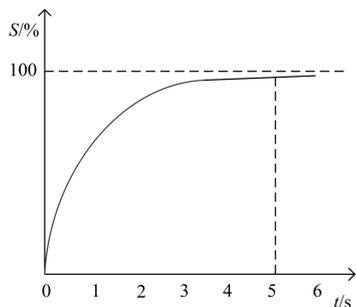


图4 有干预因子参与的单独摄像头行为

Fig. 4 Single camera behavior with intervention factors

行为二:设定 $T_0=20\text{ s}$ ,信息素浓度相等的情况下,多个联动摄像头个数参与下的有无干预因子的行为效果对比。

通过图5、图6的仿真图形,当多个摄像头动作行为效果趋近100%,在限定相同时间内且信息浓度相等的前提下,图5中的无干预因子参与的多摄像头联动行为曲线过程走势明显反映出来了多摄像头之间的行为动作存在往复行为,而且整个联动行为不

稳定、收敛过程冗余;相比之下,图6的有干预因子参与的摄像头联动行为呈现出相对平滑走势,联动动作相对稳定,往复性低,而且以多个摄像头为整体的联动行为效率明显提高。

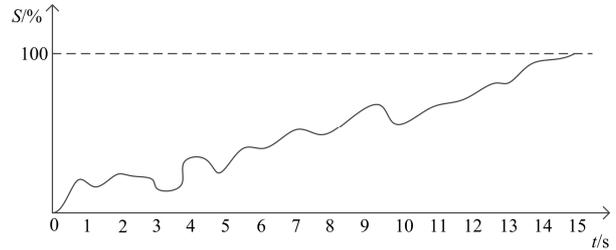


图5 无干预因子参与的多摄像头联动行为

Fig. 5 Multi camera behavior without intervention factors

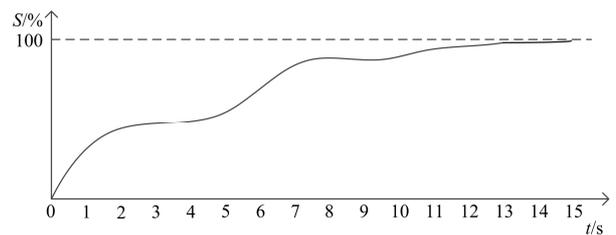


图6 有干预因子参与的多摄像头联动行为

Fig. 6 Multi camera behavior with intervention factors

#### 5 结语

本文主要采用了蚁群算法,通过额外引进干预因子的手段,面向变电站视频监控联动摄像头,建立蚁群行为策略数学模型。通过模型分析和数学仿真,证实了引入干预因子的必要性。

该算法在实际摄像头联动行为过程中,体现了联动的快速收敛性和执行行为的稳健性。

#### 参考文献

- [1] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.  
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [2] 翟瑞聪, 高雅. 电力设备远程监测诊断中心系统巡视信息联动应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 150-154.  
ZHAI Ruicong, GAO Ya. Research on application of remote video information linkage of the power equipment monitoring and diagnosis center system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 150-154.

- [3] 王鹏, 苏华衍. 基于地理空间信息多视图的电力故障全景抢修应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 128-132.  
WANG Peng, SU Huayan. Application of multi-view panoramic power fault repair based on geographic information[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(4): 128-132.
- [4] 王明松, 马鸿雁. 基于组态王的变电站运行状态在线监控系统设计与应用[J]. 电工技术学报, 2015, 30(增刊 1): 484-489.  
WANG Mingsong, MA Hongyan. Design and application of running status of substation online monitoring system based on Kingview[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(S1): 484-489.
- [5] 王建华, 张国钢, 耿英三, 等. 智能电器最新技术研究及应用发展前景[J]. 电工技术学报, 2015, 30(9): 1-11.  
WANG Jianhua, ZHANG Guogang, GENG Yingsan, et al. The latest technology research and application prospects of the intelligent electrical apparatus[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(9): 1-11.
- [6] 王敏, 武阳, 王宁, 等. 基于物联网架构的智能照明系统的设计与实现[J]. 电工技术学报, 2015, 30(增刊 1): 110-114.  
WANG Min, WU Yang, WANG Ning, et al. Design and implementation of intelligent illuminating system based on IoT[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(S1): 110-114.
- [7] HAERING N, VENETIANER P L, LIPTON A. The evolution of video surveillance: an overview[J]. Machine Vision and Applications, 2008, 19(5-6): 279-290.
- [8] WANG Rui, WANG Zaitang. Application of ant colony algorithm[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, (548-549): 1217.
- [9] LIU L, DAI Y, GAO J, et al. Ant colony optimization algorithm for continuous domains based on position distribution model of ant colony foraging[J]. Scientific World Journal, 2014, 45(1): 57-78.
- [10] 杜芳华, 冀俊忠, 吴晨生, 等. 基于蚁群聚集信息素的半监督文本分类算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(11): 167-171.  
DU Fanghua, JI Junzhong, WU Chensheng, et al. Semi-supervised text classification algorithm based on ant colony aggregation pheromone[J]. Computer Engineering, 2014, 40(11): 167-171.
- [11] 翟亚红, 徐龙艳. 蚁群算法中基于分布估计的量子信息素控制研究[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(4): 1414-1418.  
ZHAI Yahong, XU Longyan. Ant colony algorithm based on distribution estimation of quantum pheromone control research[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(4): 1414-1418.
- [12] YE Shitong, WAN Zhiping. An ant colony algorithm based on improving global pheromone update efficiency and its simulation[J]. Computer Applications and Software, 2014.

收稿日期: 2015-07-03; 修回日期: 2015-08-20

作者简介:

陈天恒(1972-), 男, 学士, 高级工程师, 研究方向为电气自动化研究; E-mail: thchen@sina.com

杨晓静(1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电气自动化研究; E-mail: 155922100319@163.com

王伟力(1979-), 男, 学士, 高级工程师, 研究方向为变电站设备监控管理。E-mail: darle\_8love@163.com

(编辑 张爱琴)