

# 基于 OPNET 的电力通信 EPON 仿真建模研究

朱志成<sup>1</sup>, 赵海涛<sup>1</sup>, 李 洋<sup>2</sup>

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;

2. 南京南瑞集团公司 信息通信技术分公司, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 成本低廉、易维护等特点使得 EPON(以太无源光网络)成为智能电网配用电通信的首选,而在先期网络规划、后期网络性能等参数的综合评估等方面尚缺乏有效的理论分析方法。因此在研究 EPON 网络的基础上,利用 OPNET 分别构建了 EPON 的 OLT、POS、ONU 网元模型,并针对在电力通信中的应用,完成了电力通信业务的建模,构建了面向电力通信的 EPON 仿真研究平台。对常见电力通信 EPON 组网方式进行了实验,并对实验结果进行了分析。实验结果表明,所搭建的电力 EPON 仿真研究平台可对电力通信业务性能进行测试与分析,EPON 系统完全符合电力通信业务的传输要求。

**关键词:** 以太无源光网络;电力通信;OPNET;建模;仿真

中图分类号:TN915.85

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)12-0164-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.12.036

## Research on Modeling and Simulation of EPON in Electric Power Communication Based on OPNET

ZHU Zhi-cheng<sup>1</sup>, ZHAO Hai-tao<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>

(1. Institute of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Branch of Information and Telecommunications of NARI Group Corporation, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The low cost and easy maintenance of Ethernet Passive Optical Network also called EPON, makes it be the first choice in electrical communications of the smart grid. While there are lack of effective theoretical analysis from the perspective of parameters evaluation in early network planning and late network performance. For the application of electric power communication, consequently, the traffic of electric power communication is raised on the basis of EPON network and further simulation platform is constructed by using the OPNET network simulation software. Some common network structures on this platform are simulated and analysis of the results is made correspondingly. The result shows that the built EPON simulation and research platform can test and analyze the performance of electric communication traffic, and EPON can absolutely meet the requirements of the electric communication traffic.

**Key words:** EPON; electric power communication; OPNET; modeling; simulation

## 0 引言

智能电网配用电通信主要有无线通信、光纤通信和电力线载波通信 3 种。其中光纤通信具有可靠性高、带宽大、保密性好以及抗干扰性强等优点,近年来随着光纤成本的降低,智能电网中普遍优先采用光纤通信实现配用电业务的传输。EPON(Ethernet Passive Optical Network)技术作为一种新型的无源光网络接入技术,综合了以太网和 PON 技术,同时支持语音、图

像和数据的接入传输,是一个多业务综合接入平台<sup>[1]</sup>。

近年来,国内外对 EPON 进行了广泛的研究与应用。文献[1]介绍了一种适用于 EPON 系统的带宽分配算法及仿真模型。文献[2]提出了间隔轮询授权 IPACT 算法,重点研究了不同授权窗口设置下对网络传输性能的影响。文献[3]结合海盐县供电局的配电网通信系统接入需求,提出了基于 EPON 技术的配电网通信系统设计方案并取得了成功应用。文献[4]提出并研制了一种基于 EPON 的智能配电网差动保护装

收稿日期:2016-02-26

修回日期:2016-06-16

网络出版时间:2016-11-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61302100,61201162);教育部博士点基金(20133223120002)

作者简介:朱志成(1992-),男,硕士研究生,研究方向为宽带接入技术仿真与建模;赵海涛,副教授,研究方向为下一代网络技术、车联网、网络编码等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20161122.1228.036.html>

置,实现了多端线路差动保护。目前已有较多的 EPON 仿真研究<sup>[2,5-7]</sup>,但大多重在创建单个的 EPON 系统,而针对电力通信 EPON 系统还未有完备的仿真实验平台,且实际 EPON 产品亦不能对网络结构、参数等性能进行方便地测试。因此,在研究学习 EPON 相关标准的基础上,基于 OPNET 网络仿真软件,对 EPON 进行了建模,针对其在电力通信中的应用对电力通信配用电业务建模,构建了电力通信 EPON 网络仿真测试平台,完成了相关网络性能参数的测试。

## 1 EPON 基本原理与建模

EPON 是一种点到多点的无源光网络。光信号在光线路终端(Optical Line Terminal,OLT)和光网络单元(Optical Network Unit,ONU)之间传送,信号通道上没有有源器件,利用无源分光器(POS)实现信道的共享。OLT 通常位于中心局,负责管理 EPON 系统,在下行方向(局端到用户方向)OLT 采用广播机制向所有与之相连的 ONU 发送数据包,ONU 进行选择接收,而在上行方向(用户到局端方向)传输机制为基于 TDMA 的

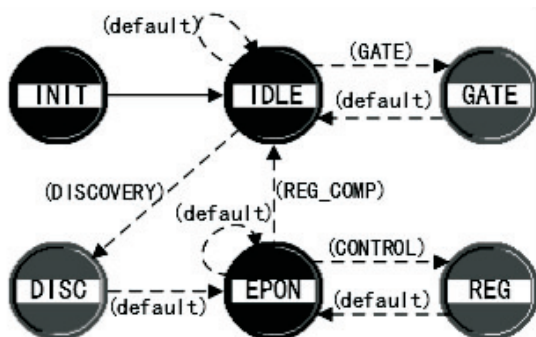
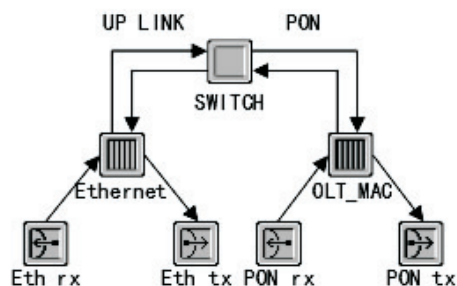


图 1 OLT 节点及进程域模型

自建模块 OLT\_MAC 进程域模型根据 IEEE802.3-2012 SECTION FIVE 64. Multipoint MAC Control 协议进行建模实现 ONU 的发现,测距,注册、带宽分配,ONU REPORT 接收以及上下行封包的交换处理,具体进程模型如图 1 所示。

OLT\_MAC 完成初始化进入 IDLE 状态后立即进入 DISCOVERY 状态,向 ONU 发送发现注册帧 Discovery Gate 并根据来自 ONU 的注册请求对 ONU 进行注册及相关逻辑端口 ID-LLID 的分配。注册完毕后返回 IDLE 状态,在 IDLE 状态实现对注册 ONU 的周期性上行窗口授权(GATE 状态向 ONU 发送授权窗口 GATE),ONU 在授权窗口末尾向 OLT 发送 REPORT 信息,OLT 在 IDLE 状态收到 REPORT 后进行 ONU 队列排队情况提取,并用于下次对此 ONU 的授权窗口的确定。IDLE 状态同时完成上下行封包的交换发送以及相应统计量的收集。

GATE 状态完成对 ONU 的授权,文中所采用的带

DBA(Dynamic Bandwidth Allocation,动态带宽分配),OLT 根据 ONU 的请求为其分配时隙,保证 ONU 能够互不冲突地共享信道资源。

由于 OPNET 中未包含 EPON 库模型,因此需要根据 OPNET 的建模机理从进程域开始对 EPON 网元模型进行代码级开发,包括 OLT、ONU、POS,光纤模型采用 OPNET 自带的 1 Gbps 链路模型。OPNET 网络仿真的建模原理等背景知识详见文献[8-9]。

### 1.1 OLT 节点模型的构建

根据 IEEE 802.3ah 标准,EPON 系统中 OLT 主要负责处理来自 ONU 的带宽请求,向 ONU 分配带宽,并完成上下行数据的转发。在 OPNET 软件节点编辑器中构建 OLT 节点模型如图 1 所示。其中 Ethernet 为 OPNET 自带以太网 MAC 层模块 Ethernet\_mac\_v2 用以实现 PON 网络与上层网络的连接,实现上行接入,OLT\_MAC 为 OLT 的光端口,根据 802.3 协议中点到多点控制协议(MPCP)进行建模。SWITCH 实现上下行数据之间的交换与封装、解封装操作,构建上联端口与下联端口之间的桥梁。

宽分配算法为限制服务 IPACT(Interleaved polling algorithm)间隔轮询算法<sup>[2]</sup>;OLT 的授权帧 GATE 发送的时间点计算公式如下:

$$G_j^{[i+1]} = \max \left\{ \begin{aligned} &G_j^{[i]} + r^{[i]} - r^{[i+1]} + \frac{W_j^{[i]}}{R_u} + B \\ &G_{j-1}^{[i+1]} + r^{[i+1]} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

其中, $G_j^{[i]}$ 为第  $j$  轮轮询中 OLT 向第  $i$  个 ONU 发送授权的时刻; $r^{[i]}$ 为第  $i$  个 ONU 到 OLT 的环回时间; $W_j^{[i]}$ 为第  $j$  轮轮询中 OLT 给第  $i$  个 ONU 分配的上行传输时间窗口; $R_u$ 为数据传输速率,固定为 1 Gbps; $B$ 为保护间隔时间,设定为 5  $\mu$ s。

IDLE 状态中根据式(1)计算下一个授权发送的时刻,在发送时刻到来时 TIME\_TO\_SEND\_GATE 状态转移条件满足,OLT\_MAC 进入 GATE 状态根据此前轮询表中记录的 ONU 队列缓存情况确定此次授权窗口  $W_j^{[i+1]}$  的大小,设置 GATE 帧中的授权窗口参数及当前 ONU 的 LLID(逻辑 ID 用于区分不同的 ONU)向 ONU

广播发送,并完成轮询表中环回时间 RTT 的更新。

授权窗口的确定依照限制服务原则:

$$W^{[i]} = \min \left\{ \begin{matrix} V^{[i]} \\ W_{\max} \end{matrix} \right. \quad (2)$$

其中,  $V^{[i]}$  为轮询表中 ONU 的队列排队情况,可视为“请求窗口大小”;  $W_{\max}$  为保证所有 ONU 公平性而设置的最大授权窗口,防止某个 ONU 独占上行带宽,造成其他 ONU 业务封包排队延时过长。

$W_{\max}$  计算方法为:

$$T_{\max} = N \left( B + \frac{W_{\max}}{R_u} \right) \quad (3)$$

其中,  $T_{\max}$  为 ONU 最大排队时延,一般设为 2~3

ms;  $N$  为系统中已注册的 ONU 数目。

## 1.2 ONU 节点模型的构建

ONU 是 EPON 网络系统的用户侧设备,用于终结从 OLT 传送来的业务,与 OLT 配合向用户提供服务。在 OPNET 软件节点编辑器中构建 ONU 节点模型如图 2 所示,其结构与 OLT 节点结构类似,由三个主要处理模块构成:

Ethernet 用于建立 ONU 与用户设备之间的以太网连接,自建模块 ONU\_MAC 为 ONU 节点的 MAC 层模型,其通过收发机 PON\_rx 及 PON\_tx 实现与分光器 POS 的连接,最终与 OLT 实现通信连接,SWITCH 交换模块负责用户侧与 PON 侧的用户数据帧交换。

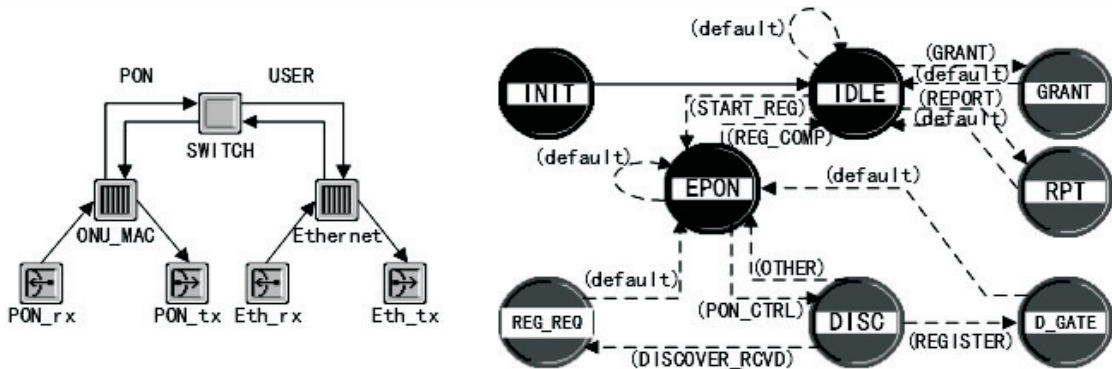


图 2 ONU 节点及进程域模型

自建模块 ONU\_MAC 实现 MPCP 完成相应 ONU 的发现、测距及注册,上行授权窗口 GATE 接收解析,队列排队情况的 REPORT,接收来自用户数据向上层网络转发,或选择接收来自 OLT 数据封包并转发至各个用户,其进程域模型如图 2 所示。

ONU\_MAC 在初始化完毕进入 IDLE 状态后立即进入 EPON\_START 状态等待来自 OLT 的发现注册帧 Discovery GATE,收到发现注册帧后解析其中包含的注册窗口大小,并根据此窗口大小产生一随机时延时间后进入 REG\_REQ 状态向 OLT 发送注册请求 register request,发送完毕返回 EPON\_START 状态等待来自 OLT 注册 REGISTER 帧,解析其中 OLT 分配的逻辑链路段口 LLID 等注册信息,并向 OLT 返回注册响应 register acknowledge 完成注册返回 IDLE 状态。

ONU\_MAC 在 IDLE 接收来自 OLT 的上行窗口授权 GATE 解析其中的授权信息,在授权窗口内向 OLT 发送队列中的排队数据,并在授权窗口结束时向 OLT 汇报当前 ONU 队列情况-REPORT,ONU 在 IDLE 状态同样选择接收 OLT 下行广播数据,并转发至相应用户。

## 2 电力通信业务建模

网络仿真中业务建模对仿真结果准确性影响较

大,不准确的业务建模一般不能反映所设计网络结构的性能参数,甚至得到完全对立的仿真结果,因此针对电力通信 EPON 网络性能仿真需要针对电力通信业务进行合理建模。

电力通信业务按照配电和用电网络主要分为配电自动化业务和用电信息采集业务<sup>[10-11]</sup>,相应业务主要参数如表 1 所示。

针对上述配用电业务需要在 OPNET 中进行相应业务建模,OPNET 提供了 8 种标准互联网业务模型 (FTP、Email、Remote Login、Database、HTTP、Print、Voice、Video Conferencing),但实际电力通信网中业务类型与此 8 种模型的业务特性有较多差异。例如,OPNET 标准业务 Video Conferencing 实现端到端的视频会议,而电网中视频监控为单向业务传输,即主站对相关配电终端进行单向视频监控,可见 OPNET 提供的业务模型大多无法直接应用至电力通信网中,因此文中利用 OPNET 中自定义业务模型 (Custom Application) 对电网配用电通信业务进行建模。自定义应用业务能将一个应用拆分成若干个任务,每个任务又可拆分成若干个阶段,通过配置任务配置器,能较好地描述应用何时发送请求和响应、如何建立通信连接以及服务器处理花费的时间。此建模方法支持多端应用,具有较大的灵活性<sup>[12-14]</sup>。



表 1 电力通信配用电系统业务类型及参数

配用电系统	类型	主要包含业务	字节/流量	周期
配电自动化业务	遥测	母线电压,系统中的潮流,有功负荷和无功负荷	2 ~ 6	突发传送或 5 s 周期传送
	遥信	电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数等模拟量,对时信息、谐波及电能质量和事件	2 ~ 6	突发传送或 5 s 周期轮询
	遥控	分合闸操作、配电变压器有载调压	1 ~ 3	突发传送或周期 1 ~ 5 s 轮询
用电信息采集业务	远程信道	单相电表	76	单变电站 100 个台区, 零点冻结数据 2 min 内抄完
		三相电表	136	
	智能营业厅	视频监控类业务	基本分辨率视频 2 Mbps	
			高清分辨率视频 4 Mbps	

3 电力通信 EPON 仿真分析

EPON 因其易扩展性在电力通信中主要用于接入网建设,电力通信 EPON 接入网常见的组网方式有星型、F 型、一字型等。在 OPNET 仿真网络场景编辑器中可按上述组网方式,根据配用电 A 类场景规模结构<sup>[10]</sup>,利用自建的 EPON 网元模型搭建电力通信 EPON 仿真平台,如图 3 所示。

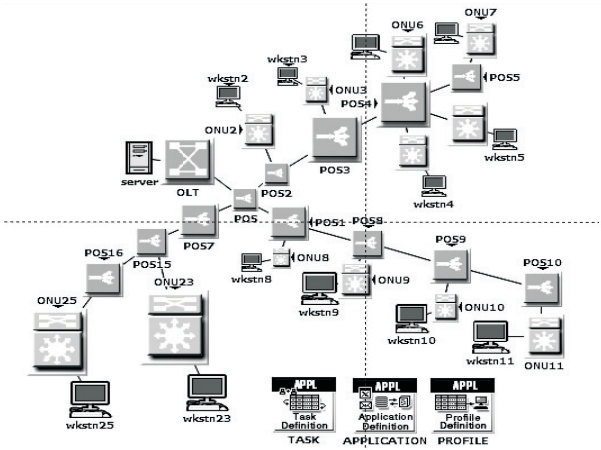


图 3 电力通信 EPON 仿真分析平台

图中,server 为配用电业务服务器,与 OLT 位于局端,各个 ONU 位于配用电电子站,各个 wkstn 为配用电终端或用电信息采集集中器,POS 为无源分光器模型,实现光纤信道的共享。其中单节光纤平均长度在 1 km 左右,光纤最大长度未超过 20 km,符合 EPON 系统应用标准。

在搭建的仿真平台中利用图中 TASK、APPLICATION、PROFILE 配置模块对配用电终端加载第 2 节建立的电力通信业务,设置仿真时间为 1 min。

业务封包平均 EPON 网络传输时延如图 4 所示。由图 4 可见,业务封包在 EPON 网络中平均传输时延在 0.1~0.5 ms 之间,符合前述 IPACT 算法设计

的最大传输时延为 2 ms 的要求,因而所搭建的仿真平台能够满足业务传输的需求。

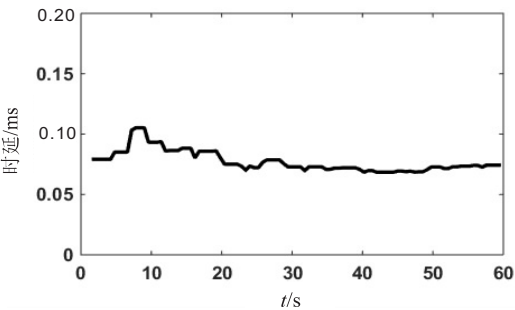


图 4 业务封包平均 EPON 网络传输时延

配电“三遥”业务响应延迟时间对比如图 5 所示。图中点划线为遥测业务,其响应时延约为 0.9 ms;点线为遥信业务,其响应时延约为 1.8 ms;实线为遥控业务,其响应时延约为 3.5 ms。根据《配电自动化建设与改造标准化设计技术规定》(Q/GDW 625-2011)中对光纤通信方式下“三遥”业务实时性要求:遥测小于 2 s、遥信小于 2 s、遥控小于 10 s,EPON 系统传输配电自动化“三遥”业务符合对应实时性要求。

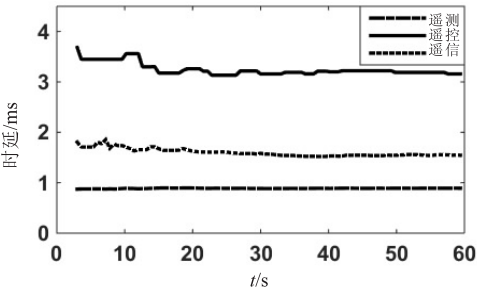


图 5 配电通信三遥业务响应时延对比

电力通信 EPON 网络 OLT 业务吞吐量如图 6 所示。

由图可见,此仿真场景下 OLT 业务吞吐量在 1 Mbps 左右,与所搭建的 A 类场景理论业务流量<sup>[9]</sup>相同。仿真实现了业务的可靠传输,并且与 EPON 系统

光纤线速率 1 Gbps 相比,EPON 系统的传输能力仍有很大空余,能够充分满足系统扩容方面的要求。

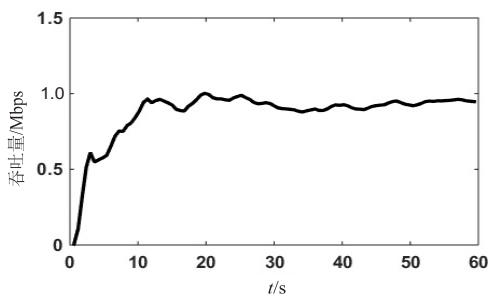


图 6 EPON 网络 OLT 业务吞吐量

## 4 结束语

基于 OPNET 网络仿真软件构建了一电力通信 EPON 仿真平台,具体介绍了 EPON 建模流程。针对 EPON 在电力通信中的应用对电力通信配用电业务进行了业务建模,仿真分析了电力通信 EPON 系统典型场景的相关性能,对实际网络规划建设评估有一定参考价值。在该平台模型下可进一步修改 OLT 端的带宽分配算法,研究不同带宽分配算法对电力通信 EPON 系统性能的影响。

## 参考文献:

- [1] 沈丽,汪敏.基于 OpnetModeler 的 EPON 建模和带宽分配算法仿真研究[J].光通信技术,2007,31(2):21-24.
- [2] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. Ethernet PON (ePON): design and analysis of an optical access network[J]. Photonic Network Communication, 2001, 3(3): 307-319.
- [3] 徐光年,马新祥,潘克非,等.基于 EPON 技术的配电网通信系统设计和应用[J].电力系统通信,2008,29(5):59-62.
- [4] 徐光福,张春合,严伟,等.基于 EPON 通信的智能配电网馈线差动保护[J].电力系统自动化,2014,38(2):91-96.
- [5] Mohammed A F Y, Newaz S H S, Choi J K. Modeling and simulation of EPON with sleep mode enabled using OPNET[C]//International conference on information and communication technology convergence. Busan: [s. n.], 2014: 16-21.
- [6] Jang Seong-Ho, Kim Jin-Man, Jang Jong-Wook. Performance evaluation of new DBA algorithm supporting fairness for EPON [C]//TENCON 2004. [s. l.]: IEEE, 2004: 29-32.
- [7] Prahmkaw S. Performance evaluation of Adaptive Rate Control (ARC) over Ethernet Based PONs (EPONs) [C]//International conference on convergence and hybrid information technology. Daejeon: [s. n.], 2008: 486-493.
- [8] 高嵩. OPNET Modeler 仿真建模大解密[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [9] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 电能信息采集与管理系统第 1 部分: 总则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [11] 电能信息采集与管理系统第 4-1 部分: 通信协议-主站与电能信息采集终端通信[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [12] 杨光敏,蔡光卉,常俊,等.基于 OPNET 的智能配网 AMR 业务建模研究及仿真[J].电力系统通信,2012,33(10):82-87.
- [13] 陈伟,李强.基于 OPNET 的数字变电站通信网络实时性仿真分析[J].电力科学与工程,2011,27(10):31-36.
- [14] 王金凤.基于 OPNET 的智能变电站通信网络研究[D].沈阳: 沈阳理工大学, 2015.
- [15] 沈丽,汪敏.基于 OpnetModeler 的 EPON 建模和带宽分配算法仿真研究[J].光通信技术,2007,31(2):21-24.
- [16] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. Ethernet PON (ePON): design and analysis of an optical access network[J]. Photonic Network Communication, 2001, 3(3): 307-319.
- [17] 徐光年,马新祥,潘克非,等.基于 EPON 技术的配电网通信系统设计和应用[J].电力系统通信,2008,29(5):59-62.
- [18] 徐光福,张春合,严伟,等.基于 EPON 通信的智能配电网馈线差动保护[J].电力系统自动化,2014,38(2):91-96.
- [19] Mohammed A F Y, Newaz S H S, Choi J K. Modeling and simulation of EPON with sleep mode enabled using OPNET[C]//International conference on information and communication technology convergence. Busan: [s. n.], 2014: 16-21.
- [20] Jang Seong-Ho, Kim Jin-Man, Jang Jong-Wook. Performance evaluation of new DBA algorithm supporting fairness for EPON [C]//TENCON 2004. [s. l.]: IEEE, 2004: 29-32.
- [21] Prahmkaw S. Performance evaluation of Adaptive Rate Control (ARC) over Ethernet Based PONs (EPONs) [C]//International conference on convergence and hybrid information technology. Daejeon: [s. n.], 2008: 486-493.
- [22] 高嵩. OPNET Modeler 仿真建模大解密[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [23] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [24] 电能信息采集与管理系统第 1 部分: 总则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [25] 电能信息采集与管理系统第 4-1 部分: 通信协议-主站与电能信息采集终端通信[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [26] 杨光敏,蔡光卉,常俊,等.基于 OPNET 的智能配网 AMR 业务建模研究及仿真[J].电力系统通信,2012,33(10):82-87.
- [27] 陈伟,李强.基于 OPNET 的数字变电站通信网络实时性仿真分析[J].电力科学与工程,2011,27(10):31-36.
- [28] 王金凤.基于 OPNET 的智能变电站通信网络研究[D].沈阳: 沈阳理工大学, 2015.

(上接第 163 页)

- [1] 人艇控制参数优化[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(7): 800-806.
- [14] 祝志慧,孙云莲.量子免疫算法在电网故障诊断中的应用[J].电力系统保护与控制,2010,38(10):22-25.
- [15] 崔晓艳,霍中刚,辛中华,等.应用理性优化蚁群算法提高激光三维复制的重现度[J].光谱学与光谱分析,2013,33(7):1873-1876.
- [16] Lang Yao, Sun Yanpeng. The study of license plate location and character segmentation[C]//Proceedings of SPIE. Singapore: SPIE, 2012.
- [17] Mousa A. Canny edge-detection based vehicle plate recognition[J]. International Journal of Signal Processing, 2012, 5(3): 1-8.
- [18] Wei W, Huang X, Wang M, et al. An automatic system of vehicle number-plate recognition based on neural networks[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2001(2): 63-72.
- [19] Rajput H, Som T, Kar S. An automated vehicle license plate recognition system[J]. Computer, 2015, 48(8): 56-61.
- [20] Liu Yiqing, Wei Dong, Zhang N, et al. Vehicle-license-plate recognition based on neural networks[C]//IEEE international conference on information and automation. [s. l.]: IEEE, 2011: 363-366.
- [21] Yang Yun, Zhang Weigang, Guo P. Realization for Chinese vehicle license plate recognition based on computer vision and fuzzy neural network[J]. Proceeding of SPIE, 2010, 7749(1): 77491G-77491G-6.
- [22] Menotti D, Chiacchia G, Falcão A X, et al. Vehicle license plate recognition with random convolutional networks[C]//Sibgrapi conference on graphics. [s. l.]: [s. n.], 2014: 298-303.