

DOI: 10.7667/PSPC160165

基于光功率衰减值的ASON路径计算方法研究

成传智¹, 朱胜华¹, 刘媛¹, 肖水英², 王汪兵³, 王先培³

(1. 国网咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437000; 2. 中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071; 3. 武汉大学电子信息学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:为解决ASON(Automatically Switched Optical Network)使用传统路径计算方法时恢复时间长以及阻塞率高的问题,提出了一种以光功率衰减值为权重的路径计算方法。该方法利用这一权重确定路径恢复时网络中每条链路被选中的概率以及每个站点的可达站点列表,进而根据每条链路被选择的概率之积最大的原则选择出一条链路业务量均衡以及跳数最短的恢复路径。经现场测试,使用该方法所得路径链路业务量更加均衡,有效降低了路径的阻塞率,同时保证了路径的恢复时间在100 ms以内。

关键词:自动交换光网络; 路径计算; 光功率衰减值; 电力通信网; 智能电网

Research on the ASON path calculation method based on optical power loss value

CHENG Chuanzhi¹, ZHU Shenghua¹, LIU Yuan¹, XIAO Shuiying², WANG Wangbing³, WANG Xianpei³

(1. Hubei Xianning Power Supply Company, Xianning 437000, China; 2. State Grid Hubei Electric Power Company, Wuhan 430071, China; 3. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to solve the problem which ASON (Automatically Switched Optical Network) has long recovery time and high blocking rate when using traditional path calculation method, a new algorithm based on the optical power attenuation value is introduced. The value is used to determine the probability of the path of each link which would be selected and the reachable lists of each station, then a recovery path which consists of balance link traffic and shortest hops based on principle of the product of the maximum probability is selected. On-site test shows that the path calculated by this method can get a more balanced selection of each link, and also can reduce the rate of path blocking and guarantee the delay recovery time within 100 ms.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50677047) and Natural Science Foundation of Hubei Province (No. 2015CFB563).

Key words: ASON; path calculation; optical power attenuation value; power communication network; smart grid

0 引言

电力通信网作为电力系统的实体网络,依托电网建设同时也为电网安全稳定运行与电网企业规范化管理提供重要保障^[1]。目前,在电力通信网主干传输网平台构建中,数字同步体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)因其分插复用方便、传输速率高、电路交换迅捷及维护简单等优点被广泛应用于电力系统中^[2-5]。但是,对电力系统而言,伴随着电力规模的增长,电力通信网的问题也越来越多。

如网络拓扑及保护方式单一、可靠性及带宽利用率低、网络可扩展性及业务调度能力差、设备厂家及设备型号繁杂等问题^[6-7]。电力网络通信网面临的以上问题势必会影响到电网正常业务的继续开展和网络的稳定安全。ASON(Automatically Switched Optical Network, ASON)^[8-9]自动交换光网络以其高度智能和无限带宽等优点,被认为是推动传输网向业务网转变的下一代光传送网。

ASON是一种能够支持多种类型业务、具有动态连接能力、可根据实际需要实时分配带宽的光网络,是下一代光网络的发展方向。在实际的运用中,由于光网络传输过程中信息量的庞大性,如何安全准确的建立一条从源站点到目的站点的光通道,成

基金项目:国家自然科学基金(50677047);湖北省自然科学基金(2015CFB563)

为了构建下一代光网络的关键问题^[10]。目前已有许多文献对 ASON 的路由策略进行了许多研究。如李建等^[11]针对 ASON, 为更加有效的利用网络资源, 给出了一种单波长资源预留方式, 可满足较短的业务建立和较低的控制带宽开销; 周贤伟等^[10]为获得更好的连接阻塞性能和更低的综合成本, 给出了一种 ASON 的多条件约束的动态组播路由算法; 曹毅宁等^[12]为减少自动交换光网络光路建立过程中存在的安全威胁, 给出了一种高效的安全光路建立协议; 桂烜等^[13]为实现拓扑的自动发现和路由信息的分发, 给出了一种基于 OSPF 的 ASON 路由实现方案, 达到全网分发波长和网络拓扑信息的目的; 谭志等^[14]为实现分层网络的拓扑发现、同步和路由计算的目的, 研究了自动交换光网络(ASON)多域分层路由体系结构, 给出了基于 speaker 节点的拓扑信息路由通告机制。

目前, 计算一条最优的端对端路径通常根据网络实际拓扑计算路径。往往采用的是最短路径法, 在网络拓扑中计算路径代价最小的路径, 当路径代价需要最短距离时, 路径代价是路径上各个链路的距离之和, 常用的最短路径算法有和 Dijkstra 算法、Bellman-Ford 算法和光学损伤图算法。

Dijkstra 算法^[15]的最短路径计算原则是所选择路径的链路权重之和最小的原则, 计算得到的路径满足链路使用概率权重小和跳数最短的要求, 但是存在的缺陷是在业务较为繁忙的情况下, 算法所选择的路径往往集中在链路使用概率权重较小的路径上, 从而造成业务量集中的弊端。

Bellman-Ford 算法^[16]和 Dijkstra 算法类似, 在计算最短路径时由于是根据网络实际的拓扑计算路径的, 计算过程中没有考虑传输路径的光学损伤是否满足要求, 有可能计算得到的路径代价中没有中继站点而导致传输的光信号损失过大, 导致路径没有中继可用而计算失败。当最短路径不能满足要求时, 需要在最短路径上进行偏移算法, 计算出有限次的次优路径, 当最短路径以及有限次的次优路径都不能满足要求时, 需要通过遍历网络中所有可能路径, 在从所有可能路径中选择可用的路径。但是这种采用遍历所有可能路径的方法时, 路径计算耗时长, 不能满足重路由等功能对时间的要求。

但是, 根据 DL/T 364-2010 电网标准要求, 规定光纤差动保护业务通信时延小于 10 ms, 恢复、倒换时间小于 100 ms。而目前国内外基于以上算法的 ASON 通信设备, 网络路径寻优和故障恢复时间远远大于标准所规定的时间, 更不能提供电网控制业务的网络智能保护和恢复功能, 使得智能电网重

要控制业务无法抵抗连续的多点失效。因此需要研究满足电网控制业务路由快速计算策略, 保障电网控制业务的及时、准确的智能控制和保护恢复。为此, 本文提出了一种以光功率衰减值为路径代价权重的路径计算方法。该方法利用这一权重确定路径恢复时网络中每条链路被选中的概率和可达站点列表, 进而根据每条链路被选择的概率之积最大的原则选择出一条链路业务量均衡以及跳数最短的恢复路径。该方法提高了路径计算效率, 能快速寻找到跳数最短的路径, 同时能够克服链路业务量集中的缺陷, 减小了恢复路径建立时间能够准确有效的实现电网控制业务的智能控制和保护恢复。

1 基于光功率衰减值的路径计算算法

ASON 技术成功引入电力光传输网, 进一步提高了电力通信网对电网控制业务的安全保障水平, 同时保证了各种业务数据的服务质量。随着智能光网络技术的不断发展, 电力通信网的组网方式也正逐渐从传统的链路型、环型逐渐向网格型(mesh)的网络结构发展, 网状网的拓扑结构将是未来核心光网络的必然拓扑结构。电力通信网的 mesh 网络采用重路由方式进行故障恢复, 网络的可恢复路由由一条业务路径和一条不相邻的故障恢复路径组成。

对于业务路径以及故障恢复路径的计算, 传统的 Dijkstra 算法计算得到的路径遵循链路权重之和最小的原则, 虽然能够找到跳数最短的路径, 但是算法存在的缺陷是在业务较为繁忙的情况下, 算法所选择的路径往往集中在链路使用概率权重较小的路径上, 从而造成业务量集中的弊端, 会提高连接请求的阻塞率提高。同时在电力通信传输网络的网状网结构中, 随着波长数和节点设备的增多, 光功率的衰减对网络中业务的传输质量和最大传输距离的影响越来越大, 因此光功率衰减成为了传输网络路径代价值的一个重要性能指标。随着高速自动交换光网络的广泛应用, 光功率衰减可以作为光网络路径代价值的参考量。

光功率是光在单位时间内所做的功, 单位为毫瓦或者分贝毫瓦, 光在光纤和站点设备中传播时或多或少地存在着功率的衰减, 光功率衰减(Optical Power Loss, OPL)是指光纤输出端的功率与发射到光纤时的功率的比值, 为了计算和研究的方便通常取其对立值的相反值, 如式(1)所示。

$$OPL = -10\lg \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

式中： P_{out} 为经过站点设备的输出功率； P_{in} 为光纤的总输入功率。光经过某一段光纤传输路径或某个节点设备后功率的衰减值作为光传输的路径代价值，能够有效地反映出每条链路的长度以及其被占用情况信息。

为了兼顾恢复路径的流量均衡性以及恢复时间的要求，基于光功率衰减值的恢复算法提出了业务恢复路径权重的概念，恢复路径的选择更加均衡，恢复时间更短。

假设链路的权重为 $w[i]$ ，代表链路的光功率比衰减值，在实际应用中包含链路的长度以及链路占用率等影响因素。则在路径计算过程中每条链路被选择的概率为

$$w_r[i] = \frac{(n_i - n_s[i])}{n_i} w[i] \quad (2)$$

式中： n_i 为第 i 条链路的通道数； $n_s[i]$ 为第 i 条链路的业务路径数。每条链路被选择的概率的物理意义表示为链路被路由选择为恢复路径的概率，某一条链路通道数越少表明该链路被选中的概率越大。为了使路径恢复的选择更加均衡，降低阻塞概率，使通道分布更均衡，在寻找恢复路径时需要遵循经过的每条链路被选择的概率之积最大的原则。

算法的流程是：先利用上位机网管系统分别计算每条链路的光功率衰减值并设定好阈值，在实际应用中设置光功率衰减值为 5dB，并以此作为传输路径的代价值。当光信号经过一条链路传输光功率衰减值大于约束值时，这条链路的的目的站点就不会作为可达站点，根据路径代价值的约束，计算出各条链路的在不使用中继情况下的可达站点并形成可达站点列表，在列表中选择出具有空闲中继能力的站点作为可达中继站点，形成可达中继站点列表，各站点分别通过 OSPF(扩展开放式最短路径优先)协议向所有站点洪泛可达中继站点列表。将源站点自身的可达站点列表加入到虚拟拓扑，根据源站点自身的可达中继站点列表和源站点能够接收其他站点的可达中继站点列表确定使用中继的情况下能够到达的站点，将使用中继的情况下能够到达的站点加入到虚拟拓扑，最后根据虚拟拓扑和每条被选择的概率之积最大的原则，确定从源站点到达目标站点的跳数最短的实际拓扑路径。算法的具体流程如图 1 所示。

2 恢复时间理论分析

在建立恢复路径的过程中，恢复路径建立时间是最重要的指标要求，它是实现快速排除电力通信网故障的必要保证。本文采取恢复路径提前计算，

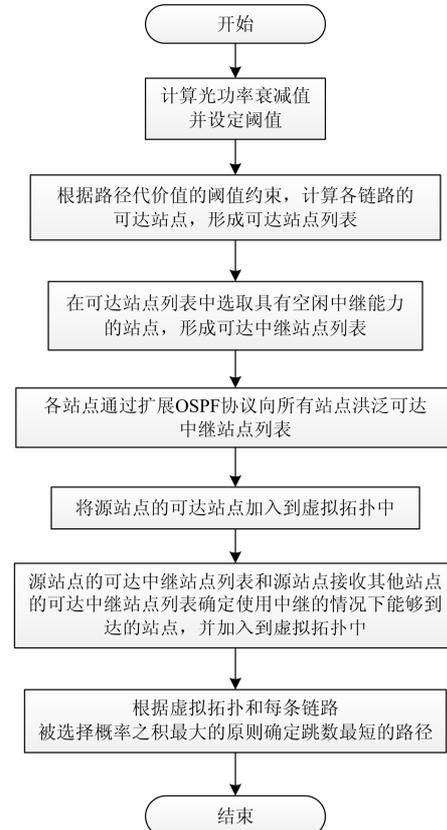


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of algorithm

并且实施软预留的方法，在故障时进行采用配置的恢复路径建立策略，这样路径的选择时间就可以不算在路径建立时间之内。路径恢复时间的影响因素包含以下几个方面：路径源站点和目的站点之间信令信息往返传输所需时间、每个站点对信令信息的处理时间、每个站点的交叉配置时间以及源站点和目的站点的桥接倒换时间。其中信令信息往返传输所需时间取决于传输路径的长度，由于算法中根据每条被选择的概率之积最大的原则，计算得到的路径能够满足链路最短的要求；而另外三个影响因素主要取决于节点设备的物理资源性能，在固定设备的情况下很难提高。

在每个环节时间都很难减少的情况下，只能考虑信令处理与站点的交叉配置能否并行处理。这种路径计算算法采用了提前计算路径的方法，使得在路径恢复之前确保路径中的每个节点都具有空闲资源，恢复路径的建立机制只需要沿着路径逐个传递信令信息，因此不存在对上一个站点反馈不可行的 NACK 信息信令的处理。为了减少恢复的时间，每个站点对信令信息的传输以及交叉配置是并行处理的。当信令信息传递到目的站点以后，在逐级向上一个站点发送 ACK 信令，当源站点收到此信令则

说明恢复路径建立成功。其路径恢复流程如图 2 所示。

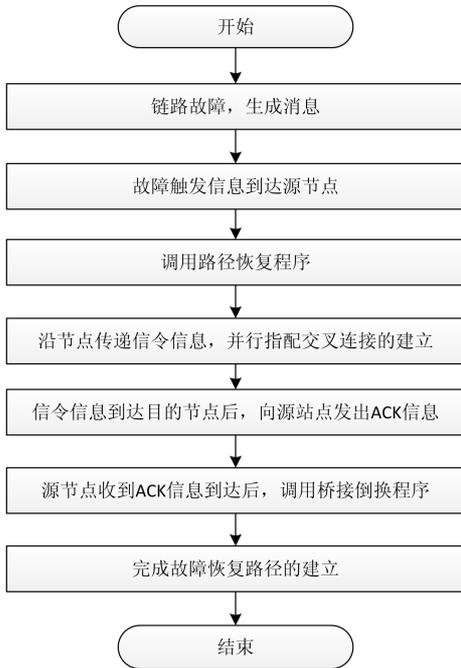


图 2 路径恢复流程图

Fig. 2 Flow chart of path restoration

假设恢复路径含有 N 个站点, 那么链路数为 $N-1$, 每条链路的传输时间为 t_1 , 每个站点的对来自上一站点以及下一站点反馈的信令处理时间均记为 t_2 , 每个站点的交叉配置时间为 t_3 , 源站点和目的站点的桥接倒换时间为 t_4 , 这种方法情况下站点的信息处理和交叉连接配置是并行处理的, 所以除目的站点以外站点的交叉连接配置时间均可包括在信令信息处理时间以内, 只需计算目的站点的交叉配置时间。那么路径恢复的总时间 t_d 为

$$t_d = 2(N-1)t_1 + 2Nt_2 + t_3 + 2t_4 \quad (2)$$

这种方法与传统的 Dijkstra 算法相比, 除了得到的恢复路径的跳数最短之外, 能够有效降低信令的传输时间, 同时除目的站点外每个站点的信令消息的处理和交叉配置并行处理, 交叉配置时间从 Nt_3 降低到了 t_3 , 有效降低了路径恢复的时间, 并且路径恢复过程中的链路的选择更加均衡。这种方法还将复杂的计算量分散到了网络的各个站点中, 提高了路径的计算效率, 同时降低了各个站点对控制单板的性能要求, 减小了运行成本。当网络中出现传输路径和节点设备故障时, 只需要重新计算各个站点的可达站点列表和可达中继站点列表, 并在网络中重新洪泛可达中继站点列表即可, 节约了时间, 降低了运行风险。

3 算法验证

为了验证该算法与传统路径计算方法相比业务量均衡性和路径恢复时间短的优点, 利用咸宁供电公司到通山公司的电力光传输网进行验证, 其拓扑图如图 3 所示。网络拓扑中的每个节点均已安装相关的 ASON 设备 (FonsWeaver780B及550F 等), 作为路径代价值的光功率衰减值能够由设备实时检测计算得到, 考虑到线路传输与经过站点设备对光功率的影响, 为了确保信令信息的准确传输, OPL 的阈值定位 5dB, 高于这个值可以进行传输, 低于这个值时必须找到空闲的中继站点才能继续传输, 再由光时域反射仪和上位机网管系统对路径恢复过程中每条链路业务量的均衡性和路径恢复时间进行记录和分析。

图 4 反映了该算法在路径计算过程中不同连接请求数时的链路选择的平衡情况可以看出光功率比算法的链路占用次数比 Dijkstra 算法要均匀, 同时随着链路请求数的增加, 光功率衰减值算法链路每条占用次数的方差的增大趋势较 Dijkstra 算法要缓慢。Dijkstra 算法在路径计算时, 没有考虑业务量均衡的因素, 因此造成路径计算过程中出现路径选择集中的情况, 造成业务的严重不均衡。而本文提出的算法将具有流量均衡因素的光功率衰减值作为路径代价值, 因此在路径选择时就考虑了网络链路为

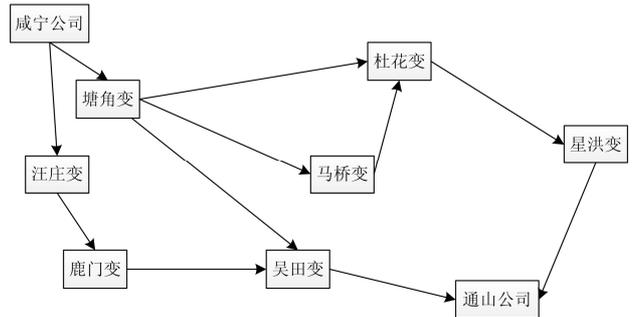


图 3 算法验证拓扑结构

Fig. 3 Topology of algorithm validation

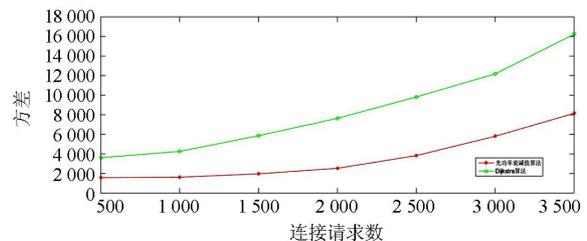


图 4 业务均衡量比较

Fig. 4 Comparison of business equilibrium quantity

业务路径提供通道数均衡性和路径的分散,使得路径选择的集中程度大大降低,从而也使连接请求的阻塞率明显减小。

由表 1 可知,采用本算法的路径恢复的时间满足恢复时间小于电网标准 100 ms 的要求。这种路径恢复方法的路径提前计算,并且实施软预留,因此在故障时进行采用配置的恢复路径建立策略,这样路径的选择时间就可以不算在路径建立时间之内。本算法的路径计算量分散到各个节点设备中,计算得到的路径所在保证阻塞率低的情况下所经过的链路条数最少,并且每个站点设备对信令消息的处理和交叉配置是并行处理的,有效降低了链路的建立时间,说明该方法能提高电力通信网的路径计算效率,有效降低路径的恢复时间。

表 1 路径恢复时间测试结果

Table 1 Results of path restoration test

连接请求数	500	1000	1500	2000	2500	3000
改进算法 时间/ms	72.2	74.3	77.6	81.4	85.4	90.5

4 结论

文章针对传统电力通信网在使用传统路径计算方法时寻路和故障恢复时间长以及链路选择过于集中的缺陷,提出了一种新的 ASON 路径计算方法,将光功率衰减值作为路径代价值,计算得到各站点的可达站点和可达中继站点,各站点通过 OSPF 协议向所有站点洪泛可达中继站点列表。根据源站点的可达站点和在使用中继情况下的可达站点构建虚拟网络结构,在虚拟拓扑中根据路径最短跳数和实际的 ASON 拓扑结构计算得到传输及路径,有效提高了业务量的均衡性以及降低了链路的阻塞率,确保路径恢复过程中信令信息的传输时间最小。同时除目的站点外,每个站点的信息处理和交叉连接配置是并行处理的,也有效降低了路径恢复的时间。当网络中出现传输路径和节点设备故障时,只需要重新计算各个站点的可达站点列表和可达中继站点列表,复杂的计算量分散到了网络的各个站点中,提高了路径的计算效率。结果表明,恢复路径的建立时间在 100 ms 以内,在较短时间内完成传输路径的建立,增强了电力通信网对电网控制业务的安全保障水平,保证了各种业务数据的服务质量。

参考文献

[1] 曾瑛,朱文红,邓博仁,等.基于电网影响因子的电力通信网关键节点识别[J].电力系统保护与控制,2016,44(2):102-108.

- ZENG Ying, ZHU Wenhong, DENG Boren, et al. Crucial node decision algorithm based on power network impact factor in electric power communication network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 102-108.
- [2] 史国炜,曾烈光.SDH接入网的网络生存性研究[J].清华大学学报(自然科学版),2003,43(9):1269-1271.
SHI Guowei, ZENG Lieguang. Survivability of SDSH access networks[J]. J Tsinghua University (Sci & Tech), 2003, 43(9): 1269-1271.
- [3] 梅鲁海.基于SDH光网络的分层区域式保护通信系统的可靠性研究[J].电力系统保护与控制,2014,42(21):81-85.
MEI Luhai. Reliability research of layered regional protective communication system based on SDH optical network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 81-85.
- [4] 方必武,王波,刘涤尘,等.考虑元件复用的继电保护通信可靠性定量评估[J].电力系统保护与控制,2015,43(11):80-86.
FANG Biwu, WANG Bo, LIU Dichen, et al. Reliability evaluation of protection communication considering components reusing[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 80-86.
- [5] 杨贵,孙磊,李力,等.区域保护与控制系统网络拓扑方案研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(9):101-107.
YANG Gui, SUN Lei, LI Li, et al. Research on regional protection and control system network topology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 101-107.
- [6] 刘涤尘,冀星沛,王波,等.基于复杂网络理论的电力通信网拓扑脆弱性分析及对策[J].电网技术,2015,39(12):3615-3621.
LIU Dichen, JI Xingpei, WANG Bo, et al. Topological vulnerability analysis and countermeasures of electrical communication network based on complex network theory[J]. Power System Technology, 2015, 39(12): 3615-3621.
- [7] 蒋康明,曾瑛,邓博仁,等.基于业务的电力通信网风险评价方法[J].电力系统保护与控制,2013,41(24):101-106.
JIANG Kangming, ZENG Ying, DENG Boren, et al. Risk evaluation method of electric power communication network based on services[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 101-106.
- [8] 姚庆.ASON保护恢复策略在电力通信主干传输网中的应用分析[C]//中国电机工程学会第十一届青年学

- 术会议, 2010.
- YAO Qing. Analyzing on ASON's strategies of protection and restoration for the telecommunication backbone transmission net in electric power system[C] // Chinese Society of Electrical Engineering Youth Conference, 2010.
- [9] 叶建平, 石林祥, 孙俊, 等. 自动交换光网络连接管理系统的研究设计[J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2007, 31(3): 449-452.
- YE Jianping, SHI Lingxiang, SUN Jun, et al. Research on automatically switched optical network connecting design management system[J]. Journal of Wuhan University of technology (Transportation Science & Engineering), 2007, 31(3): 449-452.
- [10] 周贤伟, 吴启武, 王建萍, 等. 一种高效的ASON安全光路建立协议[J]. 光子学报, 2009, 38(8): 2071-2076.
- ZHOU Xianwei, WU Qiwu, WANG Jianping, et al. An efficient secure lightpath establishment protocol in ASON[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(8): 2071-2076.
- [11] 李健, 杨爱平, 顾晓仪, 等. 新的ASON路由实现方案[J]. 通信学报, 2006, 27(6): 72-80.
- LI Jian, YANG Aiping, GU Wanyi, et al. Novel ASON routing implementation[J]. Journal on Communications, 2006, 27(6): 72-80.
- [12] 曹毅宁, 叶亚斌, 郑小平, 等. 智能光网络中基于冲突避免的通道恢复机制[J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2009, 49(10): 1632-1634.
- CAO Yining, YE Yabin, ZHENG Xiaoping, et al. Collision avoidance mechanism for path restoration in automatic switched optical networks[J]. J Tsinghua University (Sci & Tech), 2009, 49(10): 1632-1634.
- [13] 桂焯, 徐云斌, 宋鸿升, 等. 基于多层结构的ASON网络管理系统设计[J]. 北京邮电大学学报, 2003, 26(4): 41-45.
- GUI Xuan, XU Yunbin, SONG Hongsheng, et al. Design of ASON management system based on multilayer architecture[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2003, 26(4): 41-45.
- [14] 谭志, 纪越峰. 多域分层ASON路由技术[J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(1): 114-117.
- TAN Zhi, JI Yuefeng. The routing of multi area and hierarchy in the ASON[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(1): 114-117.
- [15] 王树西, 李安渝. Dijkstra算法中的多邻接点与多条最短路径问题[J]. 计算机科学, 2014, 41(6): 217-224.
- WANG Shuxi, LI Anyu. Multi-adjacent-vertexes and multi-shortest-paths problem of Dijkstra algorithm[J]. Computer Science, 2014, 41(6): 217-224.
- [16] 韩伟一. 经典Bellman-Ford算法的改进及其实验评估[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(7): 74-77.
- HAN Weiyi. Improvement and experimental evaluation on classical Bellman-Ford algorithm[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(7): 74-77.

收稿日期: 2016-01-29; 修回日期: 2016-05-26

作者简介:

成传智(1973-), 男, 工程师, 主要从事供电安全生产方面的管理工作; E-mail: ccz1056@163.com

王汪兵(1992-), 男, 通信作者, 硕士生在读, 研究方向为系统集成与故障诊断。E-mail: ww228@whu.edu.cn

(编辑 张爱琴)