

doi:10.13756/j.gtxyj.2015.02.001

光通信系统与网络技术

WDM 网络中基于物理损伤的组播节能保护算法

刘焕淋, 谢相菊, 黄 胜, 郑丹玲

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院 光纤通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要:针对存在物理损伤约束的生存性组播网络中的能耗问题,提出了一种基于物理损伤的组播节能保护算法。该算法通过修改工作、保护链路的能耗代价,优化工作、保护路径选择,再进行物理损伤约束判断,在工作、保护路径满足物理损伤约束的条件下实现网络能耗最小化。仿真结果表明,该算法在满足物理损伤约束的条件下,可以降低网络能耗。

关键词:波分复用网络;组播;生存性;物理损伤;节能

中图分类号:TN915

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2015)02-0001-03

A physical layer impairment-based energy-efficient multicast algorithm in WDM networks

Liu Huanlin, Xie Xiangju, Huang Sheng, Zheng Danling

(Key Lab of Optical Fiber Communication Technology, School of Communications and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In view of energy efficiency in survival multicast networks with physical layer impairment, this paper proposes a physical layer impairment-based energy-efficient multicast algorithm. This algorithm optimizes the selection of the operating and protecting paths and makes the judgment of physical impairment constraint by modifying the energy consumption cost for operating and protecting the links and minimizes the network energy consumption under the condition of satisfying the physical impairment constraint. Simulation results indicate that this algorithm can save network energy consumption under the condition of satisfying the physical layer impairment constraint.

Key words: WDM network; multicast; survivability; physical layer impairment; energy-efficient

0 引 言

WDM(波分复用)光网络正逐步向透明光网络发展,此时光信号的传输只需经过光域,但信号在经过各种光器件时,在传输过程中会累积各种物理损伤,使接收端无法通过收到的信号恢复出原始信号而造成连接失败,从而严重影响网络传输质量^[1]。而高带宽业务,如视频会议、高清 TV 和多人在线游戏等组播业务的应用,使得网络规模不断扩大,网络中设备的能耗也不断增加^[2]。同时在光网络中,需要预留相应的保护资源以应对链路故障,这会使网络中的能耗进一步增加^[3]。因此,研究存在物理损伤的生存性组播网络中的能耗问题非常有必要。

Amornrat Jirattigalachote 等人研究了在透明 WDM 网络中将保护路径置于休眠模式从而实现节约能耗的专用保护算法^[4],该算法可以实现能耗和阻塞率的均衡,但并未考虑物理损伤。对于基于物理损伤的生存性组播研究,T. Panayiotou 等人提出了一种基于 IAPMC-RWA(物理损伤感知的组播保

护波长路由分配)算法^[5],该算法在满足物理损伤约束的条件下能保证组播业务的生存性,但并未考虑降低能耗。

本文提出一种基于 PLI-MPE(物理损伤的组播节能保护)算法。该算法通过分别设计不同的工作、保护链路能耗代价,工作路径优先选择处于激活的链路,保护路径优先选择处于休眠的链路;再分别对工作、保护路径进行物理损伤约束判断,在实现能耗最小化的同时能够满足路径物理损伤约束。

1 物理层损伤

光纤及光器件对光信号的物理损伤主要包括线性损伤和非线性损伤。其中线性损伤包括色散、偏振模色散和放大器 ASE(放大自发辐射)等,而非线性损伤有 FWM(四波混频)、受激拉曼散射和 XPM(交叉相位调制)等。各种物理损伤的影响会以光网络性能指标 BER(误码率)的劣化来体现,而 BER 可以通过 Q 因子或者 OSNR(光信噪比)体现。BER 与 Q 因子的关系可以用下式表示^[6]:

收稿日期:2014-12-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61275077,61071117);重庆市自然科学基金资助项目(cstc2013jcyjA40052,cstc2012jjA40060);重庆市教委科学技术研究资助项目(KJ130515)

作者简介:刘焕淋(1970—),女,重庆人。教授,博士,主要研究方向为光纤通信。

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{e^{-Q^2/2}}{Q\sqrt{2\pi}}, \quad (1)$$

式中, $Q = 10 \lg \frac{P_s}{\delta_1 + \delta_0}$, P_s 为信道峰值功率, δ_0 、 δ_1 均为噪声功率。由于 $\delta_0 \ll \delta_1$, δ_0 接近于 0, 因此可以将 $\delta_0 + \delta_1$ 简化 $\delta_1 \approx \sqrt{\delta_{\text{ASE}}^2 + \delta_{\text{FWM}}^2 + \delta_{\text{XPM}}^2 + \delta_{\text{XT}}^2}$, 式中, δ_{ASE} 为放大器的 ASE 噪声功率, 且 $\delta_{\text{ASE}} \approx \sqrt{2P_c \sum_{l \in L} \text{ASE}(l)}$, 其中, P_c 为信道功率, $\text{ASE}(l)$ 为一段光路 L 上第 l 段链路上所有 EDFA(掺铒光纤放大器)产生 ASE 噪声的光功率总和。 δ_{FWM} 为 FWM 噪声功率, 且 $\delta_{\text{FWM}} \approx \sqrt{2P_c \sum_{m,n,q} P(m,n,q)}$, 式中, $P(m,n,q)$ 为 FWM 噪声产生的新的噪声功率。 δ_{XPM} 为 XPM 噪声功率, 且

$$\delta_{\text{XPM}} \approx \sqrt{P(0)^2 \sum_{j \in N} 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} |H_{\text{XPM},j}(\omega)|^2 \times \sqrt{|H_{\text{filter}}(\omega)|^2 \text{PSD}_j(\omega) d\omega}},$$

式中, $P(0)$ 为探测通道在链路首端的平均功率, N 为泵通道的个数, $H_{\text{XPM},j}(\omega)$ 为 XPM 的传递函数; $\text{PSD}_j(\omega)$ 为信道 j 的功率谱密度, H_{filter} 为光滤波函数。 δ_{XT} 为 XT(串扰), 且 $\delta_{\text{XT}} \approx \sqrt{\rho^2 P_0 P_{\text{XT}}}$, 其中, ρ 为光接收机灵敏度; P_{XT} 为光接收机接收到的串扰噪声功率, P_0 为信号信道功率。

2 PLI-MPE 算法描述

网络拓扑由 $G(N, E, W)$ 表示, N 表示网络节点数目, E 表示网络链路, W 表示每条光纤包含的波长数目。透明光网络中的能耗主要包括节点能耗和放大器能耗。网络总能耗可表示为^[7]

$$P_t = \sum_{n \in N} P_{\text{nod},n} + \sum_{l \in E} P_{\text{amp},l}, \quad (2)$$

式中, $P_{\text{nod},n}$ 为第 n 个节点的能耗, 且 $P_{\text{nod},n} = P_{\text{oxc}} + P_{\text{Tx}} + P_{\text{Rx}}$, P_{oxc} 为交换结构能耗, P_{Tx} 为发射机能耗, P_{Rx} 为接收机能耗; $P_{\text{amp},l}$ 为第 l 条链路上放大器的能耗, 且 $P_{\text{amp},l} = x_l \cdot P_{\text{amp}}$, x_l 为第 l 条链路上放大器的个数, P_{amp} 为单个放大器的能耗。网络中工作链路上设备处于激活状态, 需计算能耗。预留的保护链路均置于休眠模式, 休眠模式下的设备能耗忽略不计。

PLI-MPE 算法分别设计了工作链路代价 C_w 和保护链路代价 C_B , 以用在进行工作、保护路由选择时修改链路代价。 C_w 、 C_B 分别表示如下:

$$C_w = \begin{cases} P_{\text{amp}} \times \frac{L_l}{80} + P_{\text{nod}} + W, & \text{链路只含有工作波长} \\ P_{\text{amp}} \times \frac{L_l}{80} + P_{\text{nod}} + aW, & \text{链路含有工作或保护波长} \\ \infty, & \text{链路无可用波长} \end{cases}, \quad (3)$$

$$C_B = \begin{cases} P_{\text{amp}} \times \frac{L_l}{80} + P_{\text{nod}} + B, & \text{链路只含有保护波长} \\ P_{\text{amp}} \times \frac{L_l}{80} + P_{\text{nod}} + aB, & \text{链路含有工作或保护波长} \\ \infty, & \text{链路无可用波长} \end{cases}, \quad (4)$$

式中, P_{nod} 为节点的能耗; L_l 为第 l 条链路的长度, 放大器放置的距离为 80 km; a 为大于 1 的乘法系数。链路能耗是由节点能耗和放大器共同决定, W 、 B 大于 1 且数值较大, 是为增加链路权重而利于计算。

由式(3)可知, 链路只含工作波长的 C_w 最小; 含有工作或保护波长的 C_w 次之; 如果链路中无可用波长, 则 C_w 为无穷大。由式(4)可知, 链路只含保护波长的 C_B 最小; 含有工作或保护波长的 C_B 次之; 如果链路中无可用波长, 则 C_B 为无穷大。完成工作、保护路由选择后需进行物理损伤约束判断, 然后再进行波长分配。其算法流程如图 1 所示。

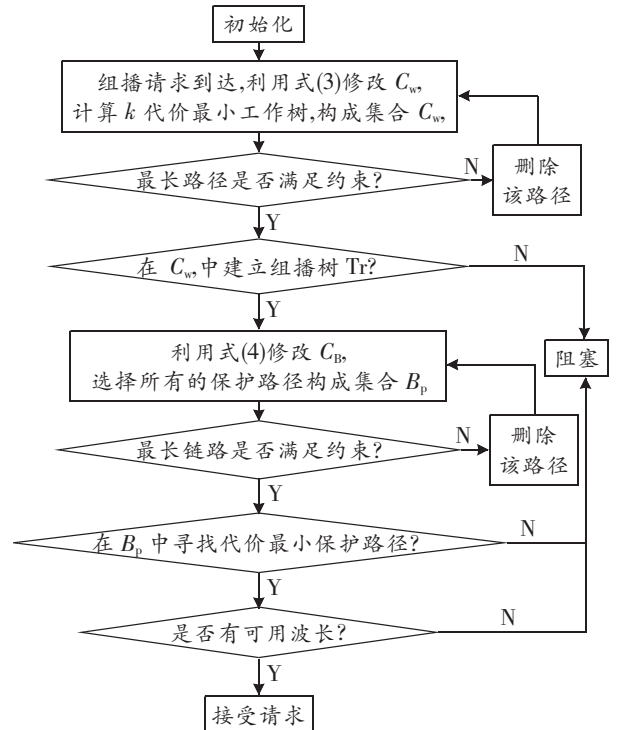


图 1 PLI-MPE 算法流程图

3 仿真分析

为了验证算法的有效性,在图 2 所示的 NSF-Net(美国国家科学基金会网)上进行了仿真实验。业务请求服从参数为 λ 的泊松分布,每个请求的服务时间服从参数为 $1/\mu$ 的负指数分布;每根光纤传输 8 个波长;每次业务请求为一个波长带宽;放大器间隔为 80 km; P_{oxc} 为 6.4 W, $P_{\text{Tx}} + P_{\text{Rx}}$ 为 14 W, P_{amp} 为 12 W。将本文算法与 IAPMC-RWA 算法和传统的没有物理损伤约束的 P-MP(基于路径的组播保护)算法进行对比。仿真结果均为统计平均值。 Q 的阈值为 11 dB($BER \approx 2 \times 10^{-28}$)^[8]。

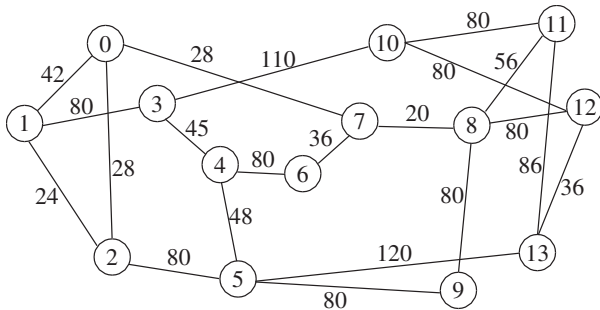


图 2 NSFNet 网络拓扑

仿真结果分别如图 3、图 4 所示。其中横坐标表示参与组播会话的节点占全网节点的百分比,为了便于在图中表示,对百分比数值取整。由图 3 可知,随着组播会话规模的增大,网络的平均能耗增加幅度趋于平稳,这是因为虽然组播会话规模的增大会使得占用的链路资源增加,但阻塞率会上升,成功请求的数目减少使得平均能耗增加幅度不大。本

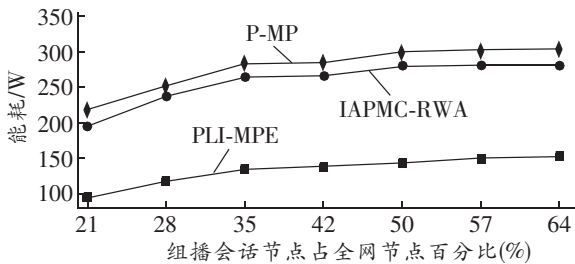


图 3 业务平均能耗

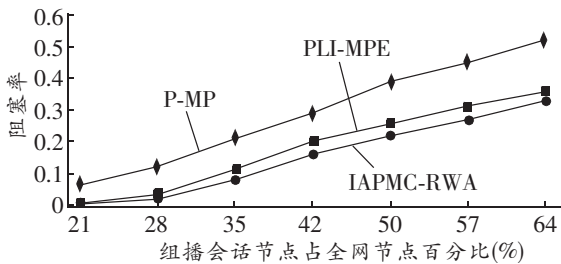


图 4 阻塞率

文提出的 PLI-MPE 算法可以有效地降低能耗,因为 PLI-MPE 算法通过设置不同的工作、保护链路代价,尽可能地选择处于激活状态的工作链路,并将保护路径进行休眠,因而可以有效地减少网络中的能耗。由图 4 可知,PLI-MPE 算法的阻塞率明显低于 P-MP 算法,这是因为 P-MP 算法没有进行物理损伤约束,造成接收端接收到无法满足传输质量的信号而出现阻塞。由于 PLI-MPE 的链路代价是由能耗决定的,路由时为降低能耗可能选择长光路,导致该光路无法满足物理损伤约束而出现阻塞,使得 PLI-MPE 算法的阻塞率略高于 IAPMC-RWA 算法。

4 结束语

本文研究了在透明 WDM 光网络中,在保证组播业务满足物理损伤约束的同时如何降低能耗。通过设置不同的工作、保护链路代价,工作链路尽可能选择处于激活状态的链路,并将保护链路置于休眠模式,达到了降低能耗的目的;再对路径进行物理损伤约束,保证了网络传输质量。仿真结果表明,本文提出的算法可以在满足物理损伤约束下降低能耗。

参考文献:

- [1] Panayiotou T, Ellinas G, Antoniadis N. Hybrid multicast traffic grooming in transparent optical networks with physical layer impairments [C] //The 22nd International Conference on Computer Communications and Networks. Nassau: IEEE, 2013: 1—6.
- [2] Yun D, Lee J. Research in green network for future internet [J]. Journal of KIISE, 2010, 28(1): 41—51.
- [3] Yu C, Liu Y, Hou W. A new green multicast grooming protection algorithm in WDM optical networks [J]. Optik International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(2): 657—662.
- [4] Jirattigalachote A, Cavdar C, Monti P. Dynamic provisioning strategies for energy efficient WDM networks with dedicated path protection [J]. Optical Switching and Networking, 2011, 8(3): 201—213.
- [5] Panayiotou T, Ellinas G, Antoniadis N. Segment-based protection of multicast connections in metropolitan area optical networks with quality-of-transmission considerations [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2012, 4(9): 692—702.

(下转第 6 页)