

「控制系统」

电力光网络中基于误码率感知的信令优化机制

文/国网福建省电力有限公司信息通信分公司 蔡力军 付 婷
国网通信电力科技有限责任公司智能电网大数据实验室 黄文思 李金湖 林海玉

随着光网络向着超高速、大容量方向发展，网络规模日益庞大，光路长度的增长面临着各种信号损伤的问题。为此，提出了一种基于误码率感知的信令优化机制。该机制通过将光信噪比换算成误码率，并在光网络的信令过程中引入误码率因素，从而避免接收端节点因误码率过高而导致通信阻塞。仿真结果表明，所提出的机制在非理想的光网络环境下能够有效提高光路建立的成功率。

随着光网络向着超高速、大容量方向发展，网络规模日益庞大。为了满足远距离传输的需要，网络中光路也不断延长。这必然导致光信号受到各种物理层损伤的影响。光信号损伤造成端到端的误码率较高，不仅影响了传输质量，甚至导致阻塞率偏高的问题。

有文献指出在考虑了多种物理层损伤对光信噪比的影响，在为连接请求选择波长通道时通过光信噪比门限值加以限制。不同文献中将波长通道的通信质量通过Q值对物理层损伤进行评估；或将网络中的各种物理层损伤进行归一化处理，并加以权值，最终判断各波长通道的通信质量；或以牺牲较短路径的连接请求阻塞率为代价而获得平均阻塞率的降低。

为了解决长距离光路中光信号损伤造成的误码率偏高的问题。本文提出了一种基于误码率感知的信令优化机制。该机制通过将光信噪比（Optical Signal Noise Rate, OSNR）换算成误码率（Bit Error Rate, BER），并在光网络的信令过程中引入误码率因素，从而避免接收端节点因误码率过高而导致通信阻塞。仿真结果表明，本文所提出的机制在非理想的光网络环境下能够有效降低光路建立的阻塞率。

本文在第一节中建立了误码率感知模型，接着在第二节详细地提出了基于误码率感知的信令优化机制，并通过第三节的仿真及比较分析得出结论。

误码率感知模型

1. OSNR模型

在光网络中，光信号在传输过程中不可避免地受到多种物理层损伤的影响，导致OSNR的劣化。通常，在非理想的光网络中物理层损伤可分为线性损伤和非线性损伤。有文献提出了将多种物理层损伤换算为OSNR模型的办法，综合考虑了光放大器自发辐射、通路不一致性和偏振相关损耗等因素。

考虑到光放大器级联的自发辐射，每条光路的光信噪比可由式（1）进行计算

$$OSNR_{out} = -10\lg \left(10^{\left(\frac{P_{in} - NF_1 - 10\lg(h\nu B)}{10} \right)} + \sum_{x=2}^X 10\lg \left(10^{\left(\frac{P_a(x) - NF_x - 10\lg(h\nu B)}{10} \right)} \right) \right) \quad (1)$$

式中， $P_{in}(x)$ 为光放大器输入端信号能量； NF_x 为光

放大器噪声系数； h 为普朗克常量； ν 为波长的频率； B 为带宽。

偏正相关损耗可由式(2)表示

$$OSNR_{PDL} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \left(\sum_i PDL_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

通路不一致性所导致的光信噪比劣化模型表示为式(3)，即

$$OSNR_{CU} = CU_1 + CU_2 + \dots + CU_n \quad (3)$$

结合以上公式，总的信噪比模型可得

$$OSNR_{total} = OSNR_{out} - OSNR_{CU} - OSNR_{PDL} \quad (4)$$

2. BER感知模型

光信号误码率感知模型可由式(5)给出

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (5)$$

其中，

$$Q = \frac{2\rho}{\sqrt{M} + \sqrt{M + 4\rho}}$$

$$M = 2BT$$

$$\rho = nB_{ref} T \cdot OSNR_{total}$$

基于误码率感知的信令优化机制

在采用GMPLS(通用多协议标签交换)架构的光网络中，业务连接的建立可以分为两个过程：路由和信令。路由过程是为所到达的业务请求计算出光路径；信令过程是根据路由计算结果为业务请求分配可用波长并建立端到端的光路径。目前GMPLS光网络主要采用RSVP-TE(流量工程扩展的资源预留协议)作为信令协议。

为了解决大规模光网络中长距离光路由于信号损伤而导致阻塞的问题，本文提出了一种基于误码率感知的信令优化机制。

1. 信令优化机制原理

基于误码率感知的信令优化机制将光路中每段链路的误码率引入RSVP-TE信令过程中，根据已知的上游每段光链路的误码率估计整条光路的误码率，以选择合适的可用波长进行分配。从而满足长短不一的各条光路对误码率的要求，以保证通信质量。

此外，信令优化机制通过对Path消息进行扩展，在Path消息中附加每段光链路的误码率值。由于Path消息中已有路由信息，因此将路由所经过的链路长度与各链路的误码率相结合，可根据式(6)估算整条光路对误码率的要求和相应的阈值。节点根据阈值选取最接近的波长分配给该连接。

$$BER_{budget} = 1 - [(L - N) \times (1 - MAX\{BER_i\})] \quad (6)$$

如此使得光路越长的连接可分配到误码率越低的波长，而光路较短的连接在保证通信质量的前提下分配到误码率较高的波长。从而长度各异的光路获得与之相适应的波长，实现波长更为合理的分配。

2. 信令优化机制的实现

基于误码率感知的信令优化机制通过在每个光网络节点中嵌入“信令优化模块”来实现。信令优化模块的功能主要有：

- 1) 根据OSNR值换算为BER值。
- 2) 估计整条光路径的BER，并计算本节点的BER阈值。
- 3) 选择BER最接近阈值的波长分配给该连接。信令优化模块的工作流程图如图1所示。

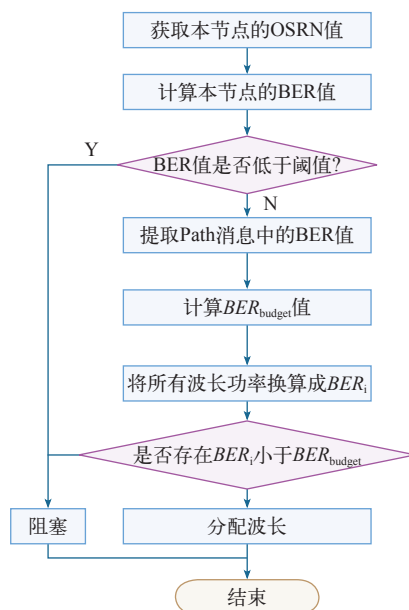


图1 信令优化机制的实现流程

仿真结果与分析

本文采用的是NSFnet网络拓扑进行仿真，网络由23个节点41条双向链路构成(图2)，每条链路包括16个波长。假设网络中每条链路上光放大器的间隔为82 km，各个节点均不具备信号的光电光再生功能。呼叫请求均匀分布在节点对间，按泊松过程到达网络，持续时间服从指数分布。

仿真中对随机分配机制、首次适用机制和本文机制进行比较，仿真结果见图3至图4。图3和图4分别为网络带宽为40 Gbit/s时网络连接请求的阻

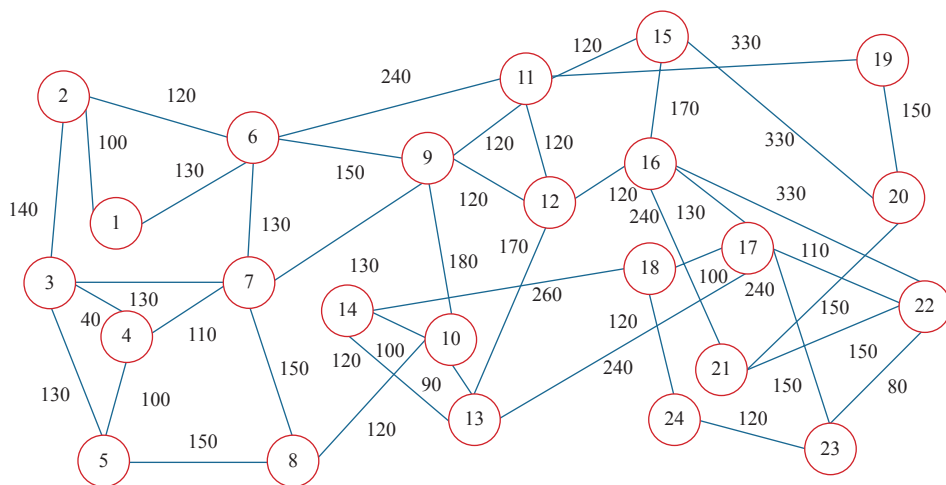


图2 网络拓扑图

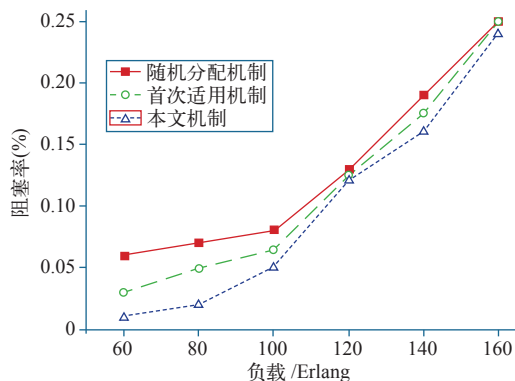


图3 阻塞率的比较

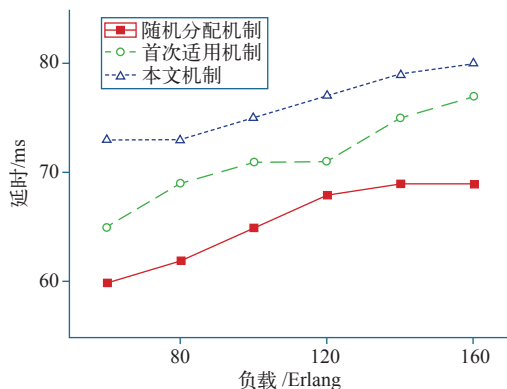


图4 平均时延的比较

塞情况和平均时延。

从图3可以看出，在实际网络中由于受到了多种物理层损伤的影响，随机分配和首次适用机制在光信号到达目的节点时往往不能达到可靠通信所要求的误码率，实际上造成了连接不成功，从而使网络阻塞率升高。此外，本文机制与另外两

种机制相比，其阻塞率得到了大幅的降低。特别是在话务量为60 (Erlang) 至120 (Erlang) 时新机制的阻塞率有较好的表现。但随着网络业务量进一步增加，由于网络中可供选择的波长通道越来越少，故这三种机制的阻塞率逐渐接近并且呈大幅度上升的趋势。

图4为三种机制的建路时延比较。由于本文机制对误码率的感知和处理增加了节点的处理时延，故其建路时延略低于另外两种机制。这是本文机制为了提高阻塞率所付出的代价，此项不足有待后续研究进一步解决。

本文所提的机制使得不同的业务连接请求在光路分配中能够“各取所得”的同时，保证了对业务连接的服务质量。因此，与非误码率感知的传统信令机制相比，本文所提的信令优化机制能够有效解决光网络中长距离光路由于物理层光信号损伤导致的误码率偏高问题，使光网络连接建立的阻塞率得到有效降低。

结束语

光网络规模的日益增长，光网络中长距离光路由于物理层光信号损伤造成了误码率偏高的问题。为此，本文提出了一种基于误码率感知的信令优化机制。该机制通过将光信噪比换算成误码率，并在光网络的信令过程中引入误码率因素，有效解决因误码率过高而导致通信阻塞率偏高的问题。EA

(收稿日期：2017.05.30)

(编辑：白文亭)