

基于传输性能指标预测的光缆可用性评估

傅 蕾^{1,2},李 卫¹,张 曦¹,巩晓滨²,任 帅¹,吴静怡¹

(1. 西安通信学院,西安 710106; 2. 69026 部队,乌鲁木齐 830001)

摘要:为准确评估既设光缆未来任务时间是否适用于高性能光端传输设备,提出一种基于传输性能指标预测的光缆可用性评估方法。在构建组合模型准确预测光缆性能指标的基础上,根据光端设备对线路允许损耗变化范围的要求评估光缆的可用性。通过实验验证说明了基于性能指标预测的光缆可用性评估方法的准确性和有效性,对解决光缆可用性评估问题具有一定的参考价值和指导意义。

关键词:可用性评估;传输性能指标;组合模型;预测

中图分类号:TN818 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2016)03-0043-03

Usability Evaluation of the Optical Fiber Cable Based on Transmission Performance Index

FU Lei^{1,2}, LI Wei¹, ZHANG Xi¹, GONG Xiao-bin², REN Shuai¹, WU Jing-yi¹

(1. Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China; 2. 69026 Troops, Urumqi 830001, China)

Abstract: The method of the optical cable usability evaluation is proposed based on the performance indicators forecast in order to accurately assess whether the existing optical cable can be adapted to the high-performance optical equipment in the future. A model which can accurately predict the performance of the optical cable is first built. Then the method predicts the usability of the optical cable according to the requirements of the allowable loss range of the optical equipment based on the model. The accuracy and validity of the method is demonstrated via the experiment. The proposed method may provide reference and guidance to solve the problem of cable usability evaluation.

Key words: usability evaluation; transmission performance index; combination model; forecasting

0 引言

随着光纤通信传送网传输速率和智能化程度的不断提高,高性能光端传输设备的使用对光缆线路的可靠性和可用性提出了更高的要求。在光缆网升级改造中,如果既设光缆能满足要求直接使用,则可以最大限度地节约建设成本,因此光缆可用性评估就显得尤为重要。而目前通过光缆损耗测试值判断光缆可用性的方法无法准确评估既设光缆未来任务时间可用性^[1],因此,本文提出了基于传输性能指标预测的光缆可用性评估方法。首先,选择由指数平滑模型、灰色模型和 BP(反向传播)神经网络模型通过最优加权构建而成的组合模型进行光缆损耗预测;然后,将光端设备对线路允许损耗变化范围的要求作为评估指标,评估光缆的可用性;最后,通过仿真验证该评估方法的准确性和实用性。

1 组合模型的构建

提高光缆传输性能指标的预测精度是增强光缆可用性评估准确性的保证,因此要解决的首要问题

是选取预测精度高、稳定性强的模型。由于引发光缆性能指标变化的影响因素复杂且具有不确定性,致使单项模型难以综合全部因素预测光缆性能指标的发展趋势,如果在光缆网升级改造中采用单项模型对既设光缆性能指标进行预测就会存在很大风险。组合预测模型^[2-3]是将两种以上不同的预测模型利用权系数正确地融合起来分析一个问题,这样不仅可以降低预测结果对某种方法的依赖程度,而且能够更真实地体现光缆的特性,达到提高预测精准性和稳定性的目的。

1.1 单项模型选择理由

光缆敷设地域广、地形复杂且环境类型多样,受各种严酷环境和人为因素影响,光缆性能指标的衰减变化没有固定规律,且在不同的环境中影响光缆传输性能指标变化的主要因素也会改变。本文选择灰色预测模型 GM(1,1)、三次指数平滑模型和 BP 神经网络模型构建组合模型进行预测研究,主要基于以下考虑:(1) 三次指数平滑模型能够有效地解决预测结果发生滞后的问题,且预测精度优于其他模型^[4],因此选择三次指数平滑模型进行光缆性能

指标预测。(2) 光缆线路敷设范围广,线路测试数据收集力度不均。组合模型需要具备既能分析多数数据又能分析少数数据的能力。因此,选择了 BP 神经网络模型和 GM(1, 1)。(3) 光缆传输性能指标测试值序列包含线性信息和非线性信息,为防止丢失任何有用信息,选择 GM(1,1)和三次指数平滑模型主要分析线性数据,同时,选择了非线性数据分析能力强的 BP 神经网络模型。(4) 虽然 GM(1, 1)和 BP 神经网络模型看似是对立和冲突的,但在实际组合中,GM(1,1)通过累加生成的数据序列比较适合与神经网络组合逼近真实值。

另外,组合模型可以根据样本数据变化趋势的不同,结合单项模型预测准确性的变化,及时调整单项模型在组合模型中的权系数大小,由此构建出的预测模型大大增强了模型自调节能力,有效提高了模型预测的精准性和稳定性。

1.2 构建模型

分别构建光缆传输性能指标预测的 GM(1, 1)模型^[5]、三次指数平滑模型^[4]和 BP 神经网络模型^[5],用式(1)、式(2)和式(3)表示:

$$\hat{Z}^{(1)}(t+1)=[Z^{(0)}(1)-b/a]e^{-at}+b/a, \quad t=1,2,3,\cdots,n, \tag{1}$$

式中, a 为发展灰数; b 为灰色作用量。

设 $X_0, X_1, \cdots, X_n$ 为光缆传输性能指标测试值时间序列, t 时刻测试值对应的指数平滑值序列为 $S^{(1)}=\{S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, S_3^{(1)}, \cdots, S_n^{(1)}\}$, 一次指数平滑值为 $S_t^{(1)}=S_{t-1}^{(1)}+\alpha(X_t-S_{t-1}^{(1)})$, α 为平滑系数, 三次指数平滑值为 $S_t^{(3)}=\alpha S_t^{(2)}+(1-\alpha)S_{t-1}^{(2)}$, 则三次指数平滑预测模型为

$$\hat{X}_{t+T}=\alpha_t+b_tT+c_tT^2, \tag{2}$$

式中, T 为预测时间; α_t, b_t, c_t 均为平滑系数, 且有

$$\begin{aligned} \alpha_t &=3S_t^{(1)}-3S_t^{(2)}+S_t^{(3)}, \\ b_t &=\frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2}[(6-5\alpha)S_t^{(1)}-2(5-4\alpha)S_t^{(2)}+(4-3\alpha)S_t^{(3)}], \\ c_t &=\frac{\alpha^2}{2(1-\alpha)^2}(S_t^{(1)}-2S_t^{(2)}+S_t^{(3)}). \end{aligned}$$

BP 神经网络模型为

$$Y_K=\sum_j\omega_{jk}^{(2)}O_I+\theta_K^{(2)}, \tag{3}$$

式中, ω_{jk} 为连接两个相邻层各节点的权值; O_I 为输入层某节点的输入; θ_K 为输出层某节点的输出。

分别用 f_1, f_2 和 f_3 代表已建立的 GM(1,1)模型、三次指数平滑模型和 BP 神经网络模型, 将历史数据整理成时间序列并用 S_n 表示, 分别用 f_1, f_2 和

f_3 预测 S_n , 预测结果分别用 Y_1, Y_2 和 Y_3 表示。设 S_t 为 t 时刻光缆性能指标实际观测值, Y_i 为 t 时刻由组合模型预测获得的数值, 则预测误差为 $\epsilon_{it}=Y_i-S_{it}$, 组合模型在 t 时刻预测误差为

$$\epsilon_t=\sum_{i=1}^3\omega_iY_i-\sum_{i=1}^3\omega_iS_{it}=\sum_{i=1}^3\omega_i\epsilon_{it}. \tag{4}$$

误差平方和为

$$J=\sum_{i=1}^3\epsilon_i^2=\sum_{i=1}^3\left(\sum_{j=1}^3\omega_j\epsilon_{it}\right)^2.$$

单项模型误差向量 $\mathbf{E}=[\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}, \cdots, \epsilon_{im}]^T (i=1, 2, 3)$, 用 ω_1, ω_2 和 ω_3 表示 3 个单项模型在组合模型中所占的权重, 以预测误差平方和最小为优化目标确定 f_1, f_2 和 f_3 的最优加权系数 ω_1, ω_2 和 $\omega_3 (\omega_1+\omega_2+\omega_3=1)$, 则组合模型表示为

$$\begin{aligned} f &=\omega_1f_1+\omega_2f_2+\omega_3f_3, \\ s.t. \begin{cases} \omega_1+\omega_2+\omega_3=1 \\ \omega_i\geqslant 0 \quad (i=1,2,3) \end{cases}. \end{aligned}$$

将需要预测的光缆损耗测试值序列代入式(3), 得到预测结果 Y 。为了验证组合模型的预测准确性, 用误差平方和、均方误差等误差指标对组合模型进行检验。

2 光缆可用性评估

光缆的主要传输性能指标包括光缆损耗和色散, 判断光缆是否可用就是看光缆传输性能指标是否满足新网络和新设备的传输要求。目前色散补偿技术能够有效地解决传输过程中的色散问题, 因此本文选取光缆损耗作为研究对象, 选择光缆线路允许损耗变化范围和最大中继段长度作为评估指标, 综合评判光缆线路的可用性。

2.1 光缆可用性评估指标

(1) 从光缆通信系统方面得到光缆线路的最大损耗值, 该数值是光信号在光缆线路中传输时允许损耗的上限值: $(\alpha_f+\alpha_s+m_c)L+2A_d\leqslant A_t$, 式中, α_f 为光纤损耗系数; α_s 为平均每公里光纤插接器损耗; m_c 为光缆线路富裕度; L 为光缆线路长度; A_d 为光连接器损耗; A_t 为光缆线路损耗值。

为确保系统正常工作, 通常系统会规定 A_t 的取值, 结合式(4) 可以确定最大中继段长度 $L_{\max}$:

$$L_{\max}=\frac{P_{\text{out}}-P_{\text{in}}-M_E-2A_c-2A_d-P_L}{\alpha_f+\alpha_s+m_c},$$

式中, P_{out} 为发送光功率(dBm); P_{in} 为接收光功率(dBm); P_L 为光通道代价(dB); M_E 为光端设备富裕度(dB), A_c 为接收器损耗(dB)。

(2) 从光端传输设备方面得到光缆线路最大损耗值,该数值是设备提供给光缆线路的允许可用损耗量,即为确保系统正常工作允许光缆线路损耗变化的范围: $P_{out} - P_{in} - M_E - P_o \leq A_i$ 。

2.2 光缆可用性评估

光缆线路是否可用需要综合上述两个评估指标进行判断:(1) 若两个指标都满足,则说明光缆线路可以继续使用。(2) 若仅满足其中一个指标,单从光缆线路角度看,此时的光缆线路性能不满足网络建设和设备升级后正常工作的要求,但通过增加放大板、提高发送端光功率等技术手段能够有效增强光缆性能,提高光缆的可用性,使得光缆性能符合网络建设和设备升级后正常工作标准,达到继续使用的要求。(3) 若两个指标都不满足且技术手段也无效,则说明光缆线路可用性差,不建议继续使用。

3 应用实例

选取某部门负责维护的 87 km 光缆中继段作为评估对象,光发送机的平均发送光功率为 -2 ~ +3 dBm,光接收机灵敏度为 -28 dBm,最大过载光功率为 -9 dBm,光缆为 4 km/盘。对该光缆的可用性进行评估。

3.1 组合预测模型在光缆指标预测中的应用

以该中继段 2004~2014 年光缆损耗测试数据为样本(原始数据见表 1),将 2012 年以前的光缆损耗测试数据作为基础数据,分别代入式(1)、(2)和(3),预测后 12 个季度(2012~2014 年)光缆损耗值,用后 12 个季度的真实数据作为检验样本,验证 3 个单项模型预测的准确性。

表 1 2004~2014 年某中继段光缆损耗测试数据

年份	损耗测试值/dB			
	1 季度	2 季度	3 季度	4 季度
2004	16.20	16.22	—	—
2005	—	—	—	16.32
2006	16.32	16.31	16.37	16.39
2007	16.38	16.38	16.47	16.46
2008	16.48	16.47	16.57	—
2009	—	16.70	16.49	—
2010	—	16.54	—	16.61
2011	16.61	16.63	16.71	16.70
2012	16.69	16.71	16.78	16.76
2013	16.77	16.77	16.82	16.81
2014	16.82	16.86	16.85	16.84

(1) 分别用 3 个单项模型进行预测,得到误差矩阵 E ,以误差平方和最小为准则,用 MATLAB 软

件求解得到单项模型在组合模型中的最优加权系数为 $\omega = (0.389\ 5, 0.483\ 6, 0.126\ 9)$,则组合模型可以表示为

$$f = 0.389\ 5f_1 + 0.483\ 6f_2 + 0.126\ 9f_3。$$
 (5)

(2) 将该中继段 2012 年以前光缆损耗的测试数据代入式(5)中,预测后面 12 个季度的光缆损耗值。GM(1,1)、三次指数平滑模型、神经网络模型和组合模型的误差指标值如表 2 所示。表中,SSE 为误差平方和,MSE 为均方误差,MAE 为平均绝对误差,MAPE 为平均相对百分比误差。

表 2 4 种模型预测结果误差指标值

	SSE	MSE	MAE	MAPE
GM(1,1)	0.079 5	0.006 4	0.030 7	0.001 9
三次指数平滑	0.090 9	0.006 9	0.035 5	0.001 7
神经网络	0.409 9	0.014 6	0.027 1	0.001 7
组合模型	0.021 9	0.003 4	0.018 7	0.001 1

从表 2 可以看出:组合模型的预测精度明显高于单项模型。因此,选择组合模型能够更加真实地预测出光缆损耗随运行时间增加而变化的发展趋势,为准确评估光缆的可用性提供有用信息。

3.2 光缆可用性评估

为确保既设光缆入网后的稳定性和可靠性,对照《光纤通信传送网维护技术标准》确定 m_c 、 α_s 、 A_d 和 α_i 的取值,计算得到最大中继段线路长度为 88 km,光缆线路允许可用损耗范围为 $A_i \leq 26$ dBm。

将该中继段 2014 年前的测试值作为样本数据,代入组合模型式(5)中预测未来 5 年的发展趋势,预测结果如图 1 所示。对照图 1 可知,该光缆中继段损耗曲线呈逐年递增趋势且发展趋势平稳。针对光缆网升级改造进行的光缆可用性评估,必须综合考虑光缆性能指标发展趋势和网络建设及设备升级后正常运行的要求。根据该中继段光缆可用性评估指标判断:光缆线路长 87km 且 5 年后光缆损耗数值

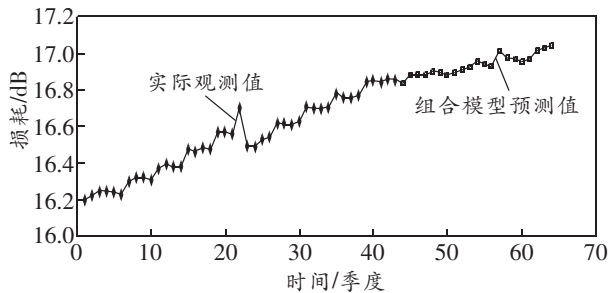


图 1 光缆损耗预测曲线图