

光网络地理分布的安全风险评估研究

李文军, 张引发, 王鲸鱼

(西安通信学院 光纤教研室, 陕西 西安 710106)

摘要:从光网络地理分布模型出发,采用通用模型下的最坏线形切割算法,对网络拓扑结构进行了建模和仿真,计算出了网络的最坏线形切割集,进而算出了网络的链路风险概率,并根据链路风险概率对网络的安全性做出了评估。这些工作对提高光网络的抗毁能力具有一定的参考意义。

关键词:光网络地理分布;最坏线形切割;链路风险概率

中图分类号:TN915 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2012)03-0030-03

Research on safety risk assessment of optical network geographical distribution

Li Wenjun, Zhang Yinfa, Wang Jingyu

(Optical Communication Laboratory, Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: On the basis of optical network geographical distribution model, we simulate the network topological structure by using the worst line cut algorithm and find out the worst line cut aggregation and the link risk probability of the network. In addition, we assess the network safety on the basis of the link risk probability. This work has a certain value of reference for improving optical network survivability.

Key words: optical network geographical distribution; worst line cut; link risk probability

0 引言

对通信网络而言,网络的安全性至关重要。就光网络而言,光纤链路的安全性问题一直是研究的热点,主要有光纤链路的保护、故障定位和单点故障恢复等^[1-3]。已有的研究很好地解决了一些光网络安全性问题,但这些研究往往定位于网络中单个或少数几条链路的损坏,而当光网络面对自然灾害(如地震、洪水等)或蓄意打击(如电磁炸弹、微波炸弹等)的破坏时^[4],光网络中被破坏的链路不会仅仅是一条或少数几条,而可能是一片区域。本文从光网络的地理分布出发,以WLGM(通用模型下的最坏线形切割)算法^[5]为基础,计算出光网络遭受蓄意打击时,网络的最坏线形切割集,在此基础上,提出了链路风险系数的概念,并以链路风险系数的地理分布来判断网络的脆弱区域。仿真结果表明,网络脆弱性与网络的地理分布密切相关。

1 相关概念定义

(1) 线形切割:对于一个网络平面,该平面上的任意一条直线段都可以看作网络平面的一条线形切割,记为 $line_cut(k)$ 。

(2) 切割容量:对线形切割 $line_cut(k)$,网络中所有被切断的链路的容量之和称为 $line_cut(k)$ 的切割容量,记为 $C_{cut}(k)$ 。切割容量可以衡量一个切割事件对网络造成破坏的大小。 $C_{cut}(k)$ 的计算公式为

$$C_{cut}(k) = \sum_i C_{link}(i), \quad (1)$$

式中, $C_{link}(i)$ 为被切割的链路的容量, i 为被切割的链路的序号。本文中假设所有链路的容量为一个单位,即假设 $C_{link}(i) = 1$ 。

(3) 可行线形切割集:对于一个网络平面而言,在一定的约束条件下,得到的线形切割的集合称为该网络平面在该约束条件下的可行线形切割集。

(4) 最坏线形切割集:在网络平面所有可行线形切割集中,以线形切割对网络容量的破坏程度的大小为衡量标准,得到的线形切割的集合称为网络平面的最坏线形切割集,记为 ϕ 。 ϕ 中的元素记为 $worst_line_cut(k)$ 或 $worst_line_cut(S, T)$,其中 S 和 T 分别为该最坏线形切割的起点和终点。

(5) 切割概率:在网络平面的最坏线形切割集 ϕ 中,某一条最坏线形切割 $worst_line_cut(k)$ 发生的概率,称为该最坏线形切割的切割概率,记为 $P_{cut}(k)$ 。假设最坏线形切割发生的概率与该最坏线

收稿日期:2011-12-10

作者简介:李文军(1987-),男,湖北天门人,硕士研究生,主要研究方向为光网络安全。

形切割的切割容量成正比,与最坏线形切割集的总切割容量成反比。 $P_{\text{cut}}(k)$ 的计算公式为

$$P_{\text{cut}}(k) = \frac{C_{\text{cut}}(k)}{\sum_i C_{\text{cut}}(i)}, \quad (2)$$

式中, $\sum_i C_{\text{cut}}(i)$ 为最坏线形切割集的总切割容量。

(6) 链路风险概率:在最坏线形切割集作用下,网络中的链路 k 被切断的概率称为链路 k 的风险概率,记为 $P_{\text{link}}(k)$,其计算公式为

$$P_{\text{link}}(k) = \sum_j P_{\text{cut}}(j), \quad (3)$$

式中, $\sum_j P_{\text{cut}}(j)$ 为最坏线形切割集中对链路 k 造成破坏的最坏线形切割的切割概率之和。

2 数学分析模型

根据以上相关概念的定义,为了计算网络中每条链路的风险概率,首先要计算网络的最坏线形切割集,为此,引入了 WLGM 算法, WLGM 算法将网络中可能存在的最坏线形切割方式总结为以下 4 种^[5]情况:

(1) $worst_line_cut(S, T)$ 的端点 S 位于一个节点上,并且该切割还经过另外一个节点 A ,如图 1(a)所示;

(2) $worst_line_cut(S, T)$ 的端点 S 位于一个节点上,并且另一个端点 T 在某条链路上,如图 1(b)所示;

(3) $worst_line_cut(S, T)$ 的端点 S 在链路上,并且经过两个节点 A 和 B ,如图 1(c)所示;

(4) $worst_line_cut(S, T)$ 的两个端点 S 和 T 分别位于不同的链路上,并且经过一个节点 A ,如图 1(d)所示。

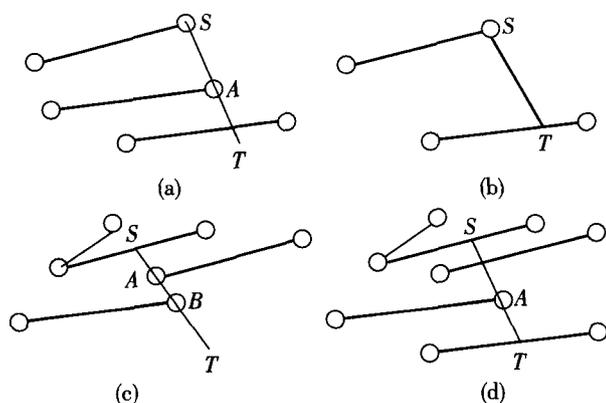


图 1 4 种可能的最坏线形切割方式

根据以上 4 种情况,可以计算网络的最坏线形切割集。

3 评估方法设计与仿真

根据图 1 中的 4 种情况,用 WLGM 算法计算网络的最坏线形切割集,然后计算出每一条最坏线形切割的切割概率,在此基础上,计算网络中每条链路的风险概率,具体步骤如下:

(1) 首先,输入网络拓扑信息,包括节点在网络中的位置以及节点之间的连接性。

(2) 根据拓扑信息,确定线形切割的长度 H 。

(3) 根据图 1 计算网络的最坏线形切割集,分为如下几个步骤:

(a) 对网络中任意两个节点,如图 1(a)所示,计算两节点之间的距离,如果两节点之间的距离小于 H ,则选取其中一个节点为最坏线形切割的起点 S ,然后根据切割长度为 H 的条件,在直线上找出最坏线形切割的终点 T 。计算网络中所有满足图 1(a)的最坏线形切割集,记为 $worst_line_cut1$ 。

(b) 对网络中的任意一个节点和一条链路,如图 1(b)所示,计算节点到链路的距离,如果距离小于 H ,则选取该节点为起点 S ,根据切割长度为 H 的条件,计算位于链路上的终点 T ,因为切割和链路都是线段,因此 T 应该在链路的两个端点决定的坐标区域内。计算网络中满足图 1(b)的最坏线形切割集,记为 $worst_line_cut2$ 。

(c) 用同样的方法,计算网络中满足图 1(c)和图 1(d)的最坏线形切割集,分别记为 $worst_line_cut3$ 和 $worst_line_cut4$ 。

(d) 综合 $worst_line_cut1$ 、 $worst_line_cut2$ 、 $worst_line_cut3$ 和 $worst_line_cut4$,记为 $worst_line_cut$ 。根据每条最坏线形切割的起点和终点,判断出该最坏线形切割与网络中所有链路的相交情况,以此计算出每条最坏线形切割的切割容量。

(4) 根据每条最坏线形切割的切割容量,计算出最坏线形切割集的总容量,并根据定义计算每条最坏线形切割的切割概率。

(5) 对每一条链路,根据定义计算出所有对该链路产生切割的最坏线形切割的切割概率之和,即为该链路的风险概率。

根据上述步骤,本文针对图 2 所示的网络拓扑结构模型建立了 WLGM 算法,计算出了网络在不同切割长度下的最坏线形切割集,进而计算出了网络中与最坏线形切割相关的链路的风险概率。

图 2 所示为一个光网络的地理分布图,图中共有 39 个节点和 50 条光纤链路,以下的仿真都是基

于这个网络拓扑来完成的。

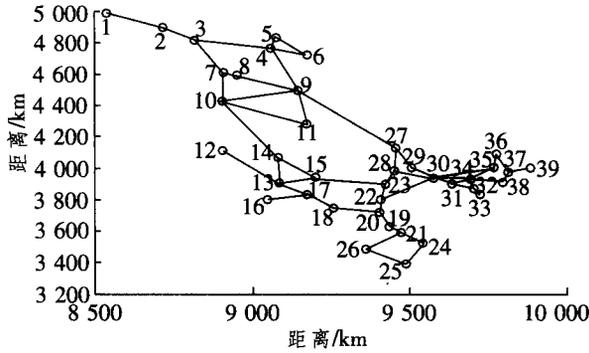


图2 网络拓扑结构模型

首先,对仿真时的参数选择做如下说明:

(1) 假设每条光纤链路的容量为一个单位。这个假设对光纤链路的容量作了近似处理,这种处理简化了网络模型,同时不会对WLGGM算法的合理

性造成影响。

(2) 线形切割的长度 H 分别取 40、80、120 和 160 km。主要有以下两个原因: 第一, WLGGM 算法要求 H 应该大于拓扑图中节点到不相邻链路的最小距离, 而图 2 中节点到不相邻链路的最小距离是 34.67 km, 因此将 H 的最小值选为 40 km; 第二, 从现实情况考虑, 破坏范围 >160 km 的线形切割事件发生的概率相对较小, 所以取 H 的最大值为 160 km。

图 3 所示为网络在不同 H 时, 最坏线形切割集 ϕ 的地理分布。其中粗线条表示最坏线形切割。从图 3(a) ~ (d), 我们按照不同 H 时 ϕ 的地理分布, 将网络依次分成了 8 个区域。(a) 包括区域 1 到 2, (b) 包括区域 1 到 4, (c) 包括区域 1 到 6, (d) 包括区域 1 到 8, 这种区域划分显示出了 ϕ 的区域性。

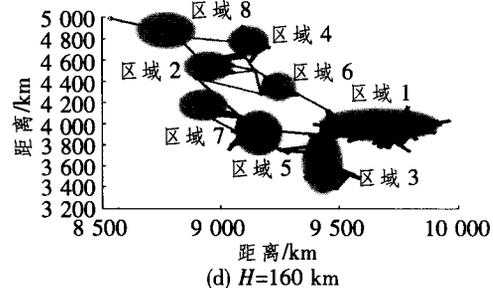
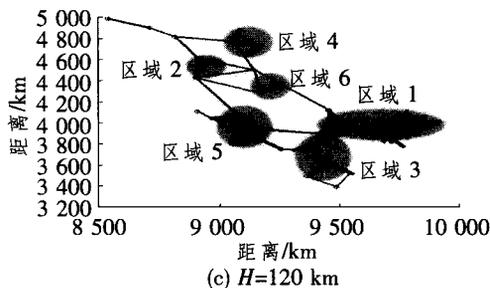
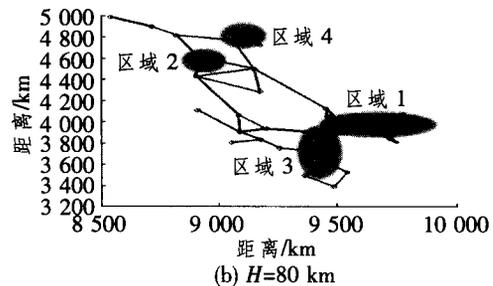
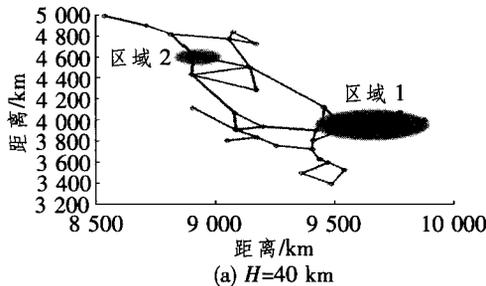


图3 网络拓扑的最坏线形切割集

从图 3 可以知道, 如果 $H = 40$ km 的线形切割发生在图 3(a) 所示的两个区域, 网络容量损失最大, 即区域 1 和区域 2 是网络面对 40 km 线形切割时的脆弱区域; 从图 3(b)、(c) 和 (d) 可以得到类似的结论。从图 3 同时可以看出, H 越大, 网络的脆弱区域就越多。

图 4 所示为不同 H 时网络链路风险概率的分布情况, 图中横坐标和纵坐标标示网络节点位置, 竖坐标表示相应的链路风险概率, 取值范围从 0 到 0.8。图中的三角形、星形和圆形分别代表 H 为 80、120 和 160 km 时的情况。

网络链路风险概率的分布与图 3 中 ϕ 的分布是密切相关的, 网络链路风险概率的分布也有其区域

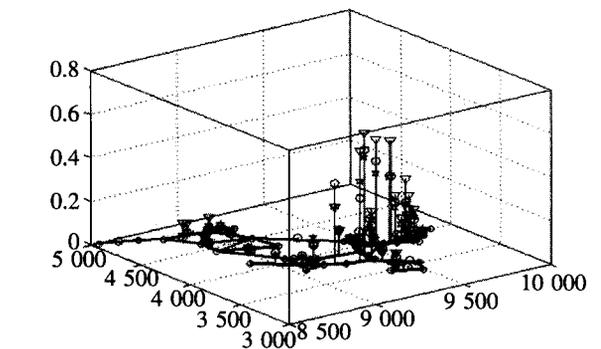


图4 网络链路风险概率

性, 链路风险概率越高, 则说明网络的该区域越脆

(下转第 51 页)

