

• 通信与信息工程 •

# 一种考虑阻塞率的WDM网络可用性算法

林蓉平, 王 晟, 李乐民

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

**【摘要】**研究了WDM网络中,网络向连接请求提供的可用性和全网的阻塞率之间的影响,提出了一种更加实际和科学的网络可用性概念,即为可用性与阻塞率的平衡点对应的可用性值。设计了动态业务下的网络可用性算法来得到网络可用性值,并对该算法进行了仿真,验证了其正确性。

**关键词** 网络可用性; 阻塞率; 业务对可用性; 共享通路保护  
中图分类号 TN913.24 文献标识码 A

## A Network Availability Algorithm in WDM Network Considering Blocking Ratio

LIN Rong-ping, WANG Sheng, LI Le-min

(School of Communication and Information Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

**Abstract** As the need of network user for high-availability is increased, how to evaluate the network availability justly becomes an on edge problem. Network availability is studied from life of hardware aspect. We find that availability and blocking ratio are usual contradictory in WDM networks, and make a practical and scientific network availability definition, which is the threshold availability value compare blocking ratio. We proposed a Dynamic Network Availability Algorithm (DNAA) in WDM networks to get the network availability. It is practical to user and operator of network. Simulation results show that DNAA is not only correct but also efficient.

**Key words** network-availability; blocking probability; connection-availability; shared path-protection

在WDM网络中,物理网络由可用性不同光纤链路组成。物理网络承载了许多业务,这些业务经过不同的光纤链路,业务对的可用性可以由其经过的所有链路的可用性通过串、并联的形式算出。文献[1]中涉及网络可用性的计算,在静态的业务情况下,业务经过的链路给定,网络上的所有的业务作为整个网络的并联子系统,即认为网络不可用是指网络上的所有的业务都无法工作的情况。

本文研究了在动态业务情况下,在考虑网络阻塞率、WDM网络的可用性的情况下,提出了一种动态业务下的网络可用性算法(Dynamic Network Availability Algorithm, DNAA)。

### 1 问题描述

#### 1.1 业务对的可用性

连接可用性可用概率表示<sup>[2]</sup>,引入如下定义:

$r(s, d)$ 为动态业务请求,要建立 $s$ 到 $d$ 的连接,可用性要求等于当时网络提供的可用性; $(i, j)$ 为物理拓扑 $G$ 中节点 $i, j$ 间的光纤链路,代表连接节点 $i$ 和节点 $j$ 的两条单向光纤链路; $a_{ij}$ 为链路 $(i, j)$ 的可用概率,表示该链路在将来某个随机时间仍处于正常工作状态的概率; $S_P$ 为构成路径 $P$ 的所有链路的集合; $a_P$ 为路径 $P$ 的可用概率,表示该路径在将来某个随机时间仍处于正常工作状态的概率; $A$ 为网络的向连接请求提供的可用性值; $\xi$ 为保护路与工作路的分离程度系数。只有当构成路径 $P$ 的所用链路都可用时,路径 $P$ 才可用,它的可用概率为:

$$a_P = \prod_{(i,j) \in S_P} a_{ij} \quad (1)$$

传统共享通路保护(Shared Path Protection, SPP)中,每个连接 $r$ 都对应一对链路分离的工作通路 $P$ 和保护通路 $B$ ,而且允许不同时失效的工作通路对应的

收稿日期: 2005-03-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60302010; 60472008)

作者简介: 林蓉平(1980-),男,硕士生,主要从事光网络可用性及保护方面的研究。

保护通路共享备用资源。此时,只有当路径对 $P$ 和 $B$ 同时不可用时,连接 $r$ 才不可用。因此,单失效情况下,传统SPP承载连接 $r$ 时的可用概率 $a_{sd}$ 为:

$$a_{sd} = 1 - (1 - a_p)(1 - \theta \cdot a_B) \quad (2)$$

式中  $a_p$  和  $a_B$  分别表示工作通路和保护通路的可用概率。与传统SPP不同,DNAA根据网络可用性作为其建立连接的可用性要求,对于每一个连接请求并不一定都要建立两条链路分离的通路,这分两种情况:(1)如果工作通路的可用概率已经满足连接可用性参数要求,则不需要建立保护通路;(2)如果工作通路的可用概率低于业务连接的可用性要求,此时应该为该连接寻找一条保护通路。保护通路并不是必须与工作通路完全链路分离,两者可以部分链路分离,只要用它们承载连接的可用不高于业务可用性要求就行。

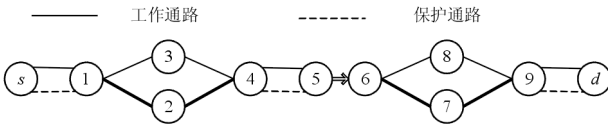


图1 DNAA中的可用性分析

假设业务连接请求 $r$ ,其可用性要求为当前网络提供的可用性 $A$ ,为该连接请求找到工作通路( $P_1=s-1-3-4-5-6-8-9-d$ )和保护通路( $P_2=s-1-2-4-5-6-7-9-d$ ),两者并未完全分离,如图1所示。 $P_1$ 和 $P_2$ 上共同链路构成集合 $S_1$ ,剩下链路构成集合 $S_2$ 。去掉 $S_1$ 中的链路后, $P_1$ 和 $P_2$ 将被分割成不同的子路段,如1-3-4、6-8-9、1-2-4和6-7-9等。 $P_1$ 和 $P_2$ 中具有相同端节点的一对子路段构成可靠子通路对,如1-3-4和1-2-4构成可靠子通路对。利用链路部分分离通路对 $P_1$ 和 $P_2$ 计算承载连接时的可用概率为:

$$a_{sd} = a_{S_1} a_{S_2} \quad (3)$$

式中  $a_{S_1}$  和  $a_{S_2}$  分别表示集合 $S_1$ 和 $S_2$ 的可用概率。由于 $P_1$ 和 $P_2$ 不能完全重合,故 $S_2$ 不会为空集合。如果集合 $S_1$ 为空,则 $P_1$ 和 $P_2$ 完全链路分离,此时认为 $a_{S_1}=1$ ;否则, $a_{S_1} = \prod_{(i,j) \in S_1} a_{ij}$ 。可求出 $a_{S_2} = \prod_{SP_l \in S_2} a_{SP_l}$ ,其中, $SP_l$ 表示第 $l$ 个可靠子通路对; $a_{SP_l}$ 表示该可靠子通路对的可用概率,可求出:

$$a_{SP_l} = 1 - (1 - \prod_{(i,j) \in P_{1l}} a_{ij})(1 - \prod_{(i,j) \in P_{2l}} a_{ij}) = \prod_{(i,j) \in P_{1l}} a_{ij} + \prod_{(i,j) \in P_{2l}} a_{ij} - \prod_{(i,j) \in P_{1l} \cup P_{2l}} a_{ij} \quad (4)$$

式中  $P_{1l}$ 和 $P_{2l}$ 分别表示第 $l$ 个可靠子通路对在 $P_1$ 和 $P_2$ 上对应的子路段。根据式(3)和(4)计算 $a_{sd}$ ,只要 $a_{sd} \geq A$ ,就可以用这两条路径为该请求建立连接。业务对间的可用性是各段链路的可用性的乘积,而

最短路算法对链路的代价都是加的关系。若对式(1)两边求对数,那么就把链路的可用性转换为用最短路算法进行找路的链路代价了。在找工作路之前,先按下式对各条链路赋值:

$$c_{ij} = \begin{cases} +\infty & SW_{ij} = \phi \\ -\ln a_{ij} & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中  $SW_{ij}$ 表示链路 $(i,j)$ 上的空闲波长集;取自然对数是因为 $a_{ij}$ 接近于1,取对数后结果相对较大一些,也就能区分较小差别的 $a_{ij}$ 。在找保护路时,设定了参数 $\xi$ 来控制找到的保护路和工作路的分离程度,用 $\xi$ 乘以工作路经过的链路来改变找到链路的代价,其他的链路的代价(可用性)不变,再找保护路。

$$c_{ij} = \begin{cases} -\ln(\xi a_{ij}) & (i,j) \in P_1 \\ -\ln a_{ij} & SW_{ij \notin P_1} \neq \phi \\ +\infty & SW_{ij \notin P_1} = \phi \end{cases} \quad (6)$$

式中  $\xi$ 取值越小,越容易找到完全分离的通路。 $\xi=0$ 时, $c_{ij}=+\infty$ ,此时找到的保护路和工作路完全分离。

## 1.2 网络向连接提供的可用性及阻塞率

在本文的研究中考虑了连接请求,以网络向连接提供的可用性作为建立连接的最小业务对可用性。物理网络为到达的业务根据其网络向连接提供的可用性分配资源。如果可用性高,那么就分配更多的资源进行保护;如果可用性低,那么就无需分配资源进行保护。由于任何物理网络都能够对单独业务提供高或低的可用性,网络提供高的可用性连接,必定会使网络的阻塞率增大;反之网络的阻塞率低。本文进行仿真,分析了网络向连接提供的可用性和阻塞率的关系。

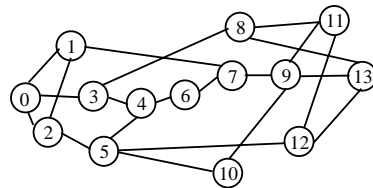


图2 NSFNET网络拓扑

本文采用NSFNET骨干网,共14个节点,21条链路,如图2所示。假设节点都具备波长变换能力,节点间的链路由一对方向相反的单向光纤组成,其可用性大小分为四种情况,分别为0.95~0.97、0.99~0.992、0.995~0.997、0.9995~0.9997的均匀分布。仿真业务为动态业务:所建连接的持续时间服从均值 $1/\mu$ 的指数分布。连接请求按照平均速率服从参数 $\beta$ 的泊松分布到达。到达请求的源、宿节点在所

有节点对间随机选定。对于到达的每个连接请求,要求为它建立满足当时网络可用性参数要求的连接。如果建立不成功,则拒绝该次请求。仿真时设每根光纤可支持7个波长,  $\beta=40$ ,  $\mu=1$ ,  $\zeta=0.01$ 。仿真 $10^5$ 业务到达。

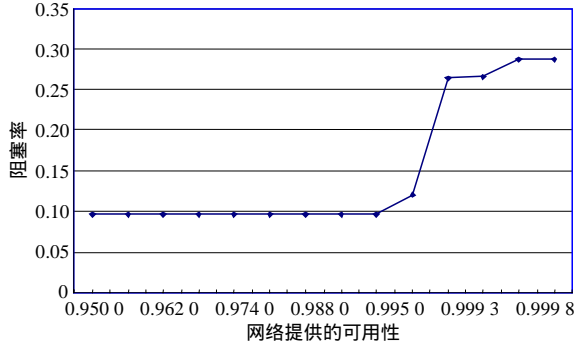


图3 阻塞率与可用性的关系

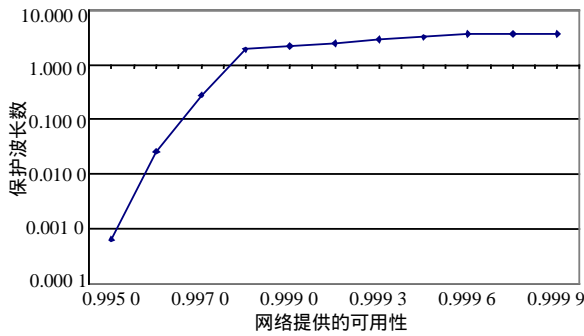


图4 平均每个连接用的保护波长

图3为链路的可用性取值在0.999 5~0.999 7的均匀分布。网络提供的可用性在0.998附近时阻塞率呈现出很大的变换,当低于0.998时,阻塞率几乎一样,当高于0.998时,阻塞率迅速增加。图4是对应的平均每个连接占用的保护波长数,可用性低于0.995时,不需要保护路就可达到可用性要求,随着可用性的增大平均每个连接占用的保护波长数也增大,这与阻塞率的增加相对应,用掉的资源多了,那么新来的业务就更容易被阻塞。链路可用性在0.95~0.97、0.99~0.992、0.995~0.997均匀分布得到了相同的趋势,网络提供的可用性的阈值分别为0.93、0.986、0.99。本文认为网络提供的可用性的阈值就是网络的可用性。网络以该可用性值作为连接请求的可用性要求能够让全网的阻塞和网络提供的可用性相互平衡。在实际中采用上面的方法得到网络可用性值是不切合实际的,因为需要检查足够多个网络向连接请求提供的可用性值来得到阻塞率的变换情况,从而找到相应的可用性值。本文提出了DNAA算法来得到网络可用性值,算法中对网络提供的可用性进行了动态的修改并稳定在网络的真

实可用性值上。业务对以网络提供的可用性作为连接的要求,由于可用性的动态修正,本文允许需要保护的业务的可用性连接要求低于一个较小的常数 $\delta$ 乘上当时的网络提供的可用性。当某一时段的阻塞率增大时,说明了网络提供的可用性偏大,需要进行调低,以此来减小阻塞率;当阻塞率较小,并且网络上的业务对的真实可用性普遍比网络的可用性大时,需要在保证低的阻塞率下对网络可用性进行调高。调整的公式为:

$$A = A + \frac{1-A}{100} \quad (7)$$

$$A = A - \frac{1-A}{2} \quad (8)$$

式(7)保证了调整后的可用性不会大于1,式(8)可能会出现负值,故在算法中加入了判断条件,只有在 $A$ 大于0.5时才进行下调,否则就等于原来的可用性。调整的幅度是可以改变的,保守方法是让下调的幅度是上调的幅度的50倍。

## 2 动态业务网络(DNAA)的步骤

设 $a$ 、 $e$ 和 $b$ 分别为在某一网络可用性调整间隔内,接受的业务连接的可用性大于、等于和小于当时网络的可用性的业务对数目。 $b$ 包阻塞的连接请求。

1) 等待业务连接请求 $r(s, d)$ :如果请求为连接建立请求,跳转至步骤2);如果请求为连接释放请求,更新网络资源,回到步骤1)。

2) 自适应寻找业务路径:(1)选路:在更新的网络图上使用最短路径算法(Dijkstra算法)计算源宿节点间的最短路径,如果不存在,阻塞该业务对,回到步骤1);若存在,计算该路径的可用性值有没有到达网络提供的可用性值 $A$ ,若可用性值不小于 $A$ ,到步骤3),否则继续下面步骤。(2)根据式(6)修改链路代价,在新网络图上使用最短路径算法计算源宿节点间路径,若不存在,阻塞该业务对,到步骤1);若存在,根据式(3)计算工作路配以保护路的可用性,若达到了 $(1-\delta)A$ ,为该请求分配这组工作路和保护路,到步骤3),否则阻塞该业务请求,回到步骤1)。

3) 为 $r(s, d)$ 分配资源,修改网络使用资源:(1)若该业务的可用性大于、等于或小于网络可用性,分别对 $a$ 加一、 $e$ 加一或 $b$ 加一。(2)对新增的工作路经过的链路的剩余波长数减一。(3)对保护路经过的链路分两种情况处理:若是和以前的业务共享了该段保护链路,只需在该链路上记录下这个共享信息;若是重新分配了波长,则该段链路的空闲波长减一,并记录保护信息。(4)若接受连接数目加阻

塞连接的数目等于一个数目(设为200)时,到步骤4),否则到步骤1)。

4) 修改网络的可用性值:(1) 对低于网络可用性的业务对数目 $b$ 加上到上一次修改网络可用性这段时间内阻塞的业务数目。(2) 比较 $a$ 和 $b$ 的大小,若 $a$ 大于 $b$ ,说明了网络的可用性偏低,采用式(7)调整,若 $a$ 小于 $b$ ,说明了网络可用性偏高,采用式(8)调整,若相等,不作调整。(3) 对 $a$ 、 $e$ 、 $b$ 重新赋零。

### 3 仿真分析

使用NSFNet网,每根光纤支持7个波长, $\beta=40$ , $\mu=1$ , $\delta=0.01$ , $\xi=0.01$ 。仿真 $10^5$ 业务到达。

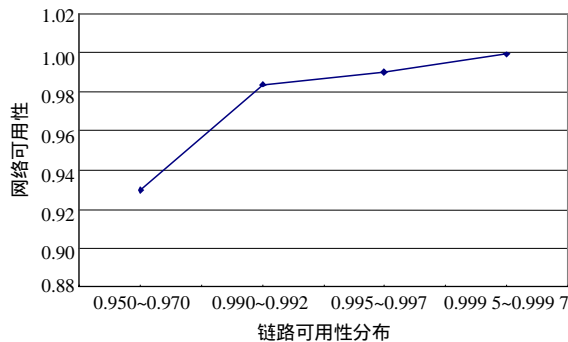


图5 链路可用性下的网络可用性

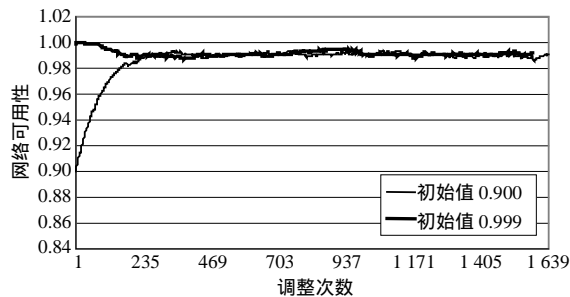


图6 网络可用性调整

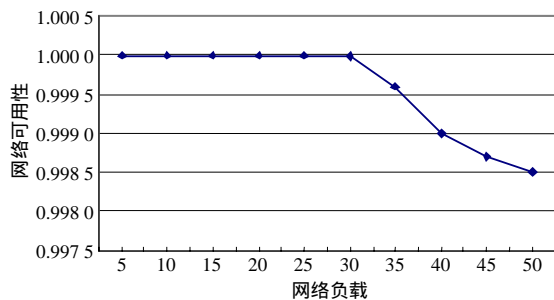


图7 不同负载下的网络可用性

图5中,在相同的负载下,四种不同的链路可用性得到了四种不同的网络可用性。链路的可用性越高,网络的可用性就越高,符合实际情况。当链路可用性取0.950~0.970、0.990~0.992、0.995~0.997、0.9995~0.9997均匀分布时,网络可用性分别为0.93、0.986、0.99和0.998,这些可用性等于本文前面考虑阻塞率突变时对应的网络向连接提供的可用性值。图6则在链路的可用性在0.995~0.997均匀分布,网络的初始可用性值分别为0.900和0.999,达到同一网络可用性0.986附近。经过200左右的调整,网络的可用性达到可真实值。说明了DNAA对计算网络可用性效率很高。在图7中,链路的可用性在0.9995~0.9997之间,网络负载通过调整业务到达率进行调整。可见,同一物理网络的可用性在考虑阻塞率的前提下,其可用性是不同的。低负载时,网络能提供很高的可用性,当负载较大时,阻塞率增大,提供的可用性也就相对较低。

### 4 结束语

本文在WDM网络中,针对动态业务情况下,从网络向连接请求提供的可用性值与全网阻塞率的关系中,找到网络向连接请求提供的可用性的阈值。阻塞率在该阈值附近产生突变,使可用性增加很小会导致阻塞率增加很大,本文以该阈值作为网络的可用性值,并给出了相应的DNAA算法来求出网络的可用性,仿真验证了其正确性,能为网络设计者、网络运营商及网络用户提供一个全新的方法。

#### 参考文献

- [1] VOGT M, MARTENS R, ANDVAAG T. Availability Modeling of Services in IP Networks[C]// Design of Reliable Communication Networks, Banff, Alberta, Canada, 2003: 167-172.
- [2] ZHANG J, ZHU K, MUKHERJEE B. Service provisioning to provide per-connection-based availability guarantee in WDM mesh networks[C]// Optical Fiber Communication Conference, Washington, DC, 2003: 622-624.

编辑 刘文珍