

一种基于运行性能的网络可用性算法

林蓉平 王 晟 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术重点实验室 成都 610054)

摘 要 随着网络用户对网络的可用性要求越来越高,如何较公正地评估网络的可用性成为迫切的问题。该文对 WDM 网络在动态业务情况下提出了一种网络可用性算法,并定义了网络的运行性能等于网络的业务接受率乘以业务要求的可用性。该算法在保证网络具有最好的运行性能下获得最高的网络可用性。最后对所提算法进行了仿真,验证了其正确性。

关键词 网络可用性,业务对可用性,网络运行性能,共享通路保护

中图分类号: TN915.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)11-2140-04

A Network Availability Algorithm Considering Network Performance

Lin Rong-ping Wang Sheng Li Le-min

(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UESTC of China, Chengdu 610054, China)

Abstract As the need of network user for high-availability is increased, how to evaluate the network availability just becomes an on edge problem. Then a Dynamic connections Network Availability Algorithm (DNAA) in WDM network is proposed, which considers high network performance, and the network performance is defined as that the accept rate multiplies the required availability of users. Simulation results show that DNAA is not only correct but also efficient.

Key words Network availability, Connection availability, Network performance, Shared-path protection

1 引言

可用性是指从正常工作开始,在以后的任何一个时间点系统正常工作的概率,即可以被使用的概率。这个时间点到开始时间之间可能经历了系统失效和修复,可见可用性是在系统多个生命周期内考虑,也更加能体现系统的综合性能,像系统的修复时间、环境等对系统的影响。在 WDM 网络中,网络由不同光纤链路组成。物理网络承载的业务经过不同的光纤链路,业务对的可用性可以由经过的链路的可用性通过串、并联的形式算出。文献[1,2]对网络可用性的计算是在静态的业务情况下,路由给定,所有的业务作为网络的并联子系统,即网络不可用是指网络上的所有的业务都无法工作的情况。这种网络可用性不能体现网络的工作状况,如一个业务正常工作和全部业务正常工作是不区别的。

本文研究了在动态业务情况下 WDM 网络的可用性,定义了网络的运行性能,提出了一种动态业务下的考虑网络运行性能的网络可用性算法(DNAA)。本文第 2 节描述了各种与网络可用性相关的问题。第 3 节对所提算法进行具体阐述;第 4 节给出了仿真研究结果及验证结果;第 5 节是全文的总结。

2 问题描述

2.1 网络运行性能的描述

对网络运行性能(performance)好的定义有多种,像网络

的阻塞率最低,网络负载均衡等。本文定义的网络运行性能 P 为

$$P = R \times A \quad (1)$$

R 为业务接受率(accept rate),是网络接受的业务数占总共到达的连接请求数的百分比。 A 为网络向连接请求提供的可用性值,连接请求都以该值作为建立连接时需要满足的最小可用性。网络的运行性能是由业务接受率和网络向连接请求提供的可用性共同决定。对网络运营商而言,网络运行性能可看作网络收益。物理网络都能对单独业务提供高或低的可用性,网络要是提供高的可用性连接,就分配更多的资源进行保护,单个连接收费就高,但是会使网络的阻塞率增大^[3];网络要是提供低的可用性连接,单个连接的收费也低,但是网络的阻塞率低^[3];当网络中既有高可用性业务又有低可用性业务时,低可用性的业务会占用资源,高可用性的业务可能因为资源不足而阻塞,这可以通过网络运行性能进行分析。

定义网络可用性(availability)是在考虑了网络运行性能的前提下,为业务提供的最高的可用性值。假如有一网络的可用性值为 99%,那就说明了该网络向连接请求提供 99%的可用性时,网络运行性能最好。当然网络可以向连接请求提供高于 99%的业务,只是网络的运行性能很低。当网络向连接请求提供的可用性变化时,业务接受率也会发生相应变化。一般是可用性越高,业务接受率越低,反之越高。通过调整网络向连接请求提供的可用性改变业务接受率,从而达到最好的网络运行性能。当网络达到了最好的运行性能,对

应的网络向连接请求提供的可用性值就是该网络的可用性。算法中，网络向连接请求提供的可用性根据网络运行性能的改变相应进行调整，最后网络运行性能稳定在最好值。要是网络运行性能相比上次测量的网络运行性能好，依照上次改变的趋势改变网络向连接请求提供的可用性，即上次是调低，这次也调低；上次调高，这次也调高。反之要是网络运行性能相比上次测量的网络运行性能差，就与之相反改变网络向连接请求提供的可用性，即上次是调低，这次调高；上次调高，这次调低。调整的公式如下：

$$A = A + (1 - A)/20 \quad (2)$$

$$A = A - (1 - A)/20 \quad (3)$$

式(2)保证了调整后的可用性不会大于 1，式(3)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 的时候才进行下调，否则就等于原来的可用性。调整的幅度是可以改变的，由于 A 往往大于 0.95，仿真中调整幅度比较小，防止调整时出现很大的抖动。

2.2 业务对的可用性

连接可用性可以简化为用概率表示^[4-6]，在具体分析之前，引入如下定义： $r(s, d)$ 为动态业务请求，源节点是 s ，宿节点是 d ，可用性要求为当时网络向连接请求提供的可用性值。 (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 (i, j) 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 P 在将来某个随机时间仍处于正常工作状态的概率。 a_r 为连接 $r(s, d)$ 的可用概率，表示该连接在将来某个随机时间仍处于正常工作状态的概率。 ξ 为保护路与工作路的分离程度系数。

只有当构成路径 P 的所用链路都处于正常工作状态时，路径 P 才可用。路径 P 的可用概率为

$$a_p = \prod_{(i,j) \in S_p} a_{ij} \quad (4)$$

传统共享通路保护(Shared Path Protection, SPP)中，每个连接 $r(s, d)$ 都对应一对链路分离的工作通路 P 和保护通路 B ，不同时失效的工作通路对应的保护通路可以共享保护资源。只有当路径对 P 和 B 同时不可用时，连接 $r(s, d)$ 才不可用。因此，可求出传统SPP承载连接 $r(s, d)$ 时的可用概率 a_r 为

$$a_r = 1 - (1 - a_p)(1 - \theta \cdot a_B) \quad (5)$$

a_p 为工作通路的可用概率， a_B 为保护通路的可用概率， θ 为通路 B 上预留的备用资源还未被其他连接对应的保护通路占用的概率^[4]。在多链路失效情况下，如果在连接 $r(s, d)$ 对应的工作通路 P 失效之前，其他共享保护通路 B 上备用资源的某条连接对应的工作通路已经失效，先失效的工作路将占用保护资源导致后失效的工作路无保护资源可用，连接 $r(s, d)$ 无法进行恢复。在单链路失效情况下，网络中在一个时间点上最多有一条链路失效，此时可认为 $\theta=1$ 。本文也只考虑单失效的

情况。

DNAA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^[6]，分为两种情况：(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^[4]。与SPP不同的是，保护通路并不是必须与工作通路完全链路分离，只要用它们的可用概率达到要求就行。假设来了一个业务连接请求 $r(1,11)$ ，其可用性参数为当前网络的可用性 A ，为该连接请求找到工作通路($P_1=1-2-3-5-6 \dots -7-8-9-11$)和保护通路($P_2=1-2-4-5-6 \dots -7-8-10-11$)，如图 1 所示。 P_1 和 P_2 上共同链路构成集合 T_1 ，剩下链路构成集合 T_2 。去掉 T_1 中的链路后， P_1 和 P_2 将被分割成不同的子路段，如 $2-3-5, 8-9-11, 2-4-5$ 和 $8-10-11$ 等。 P_1 和 P_2 中具有相同端节点的一对子路段构成子通路对，如 $2-3-5$ 和 $2-4-5$ 构成子通路对。连接 $r(s, d)$ 的可用概率 a_r 为

$$a_r = a_{T_1} \cdot a_{T_2} \quad (6)$$

其中 a_{T_1} 和 a_{T_2} 分别表示集合 T_1 和 T_2 的可用概率；由于 P_1 和 P_2 不能完全重合，故 T_2 不会为空集合。如果集合 T_1 为空，则 P_1 和 P_2 完全链路分离，此时认为 $a_{T_1}=1$ ；否则， $a_{T_1} = \prod_{(i,j) \in T_1} a_{ij}$ 。可求出 $a_{T_2} = \prod_{SP_l \in T_2} a_{SP_l}$ ，其中 SP_l 表示第 l 个子通路对； a_{SP_l} 表示该子通路对的可用概率：

$$\begin{aligned} a_{SP_l} &= 1 - \left(1 - \prod_{(i,j) \in P_{1l}} a_{ij} \right) \left(1 - \prod_{(i,j) \in P_{2l}} a_{ij} \right) \\ &= \prod_{(i,j) \in P_{1l}} a_{ij} + \prod_{(i,j) \in P_{2l}} a_{ij} - \prod_{(i,j) \in P_{1l} \cup P_{2l}} a_{ij} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 P_{1l} 和 P_{2l} 分别表示第 l 个子通路对在 P_1 和 P_2 上对应的子路段。根据式(6)和式(7)计算 a_r ，只要 $a_r \geq A$ ，就可以用这两条路径为该请求建立连接。对式(4)两边求对数，那么就把链路的可用性转换为可以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} ：

$$c_{ij} = \begin{cases} +\infty, & SW_{ij} = \phi \\ -\ln a_{ij}, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

其中 SW_{ij} 表示链路 (i, j) 上的空闲波长集，之所有取自然对数是因为往往 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，设定了一个参数 ξ 来控制找到的保护路和工作路的分离程度，用 ξ 乘上工作路经过的链路，改变这些链路的代价，其它的链路的代价不变，再找保护路。

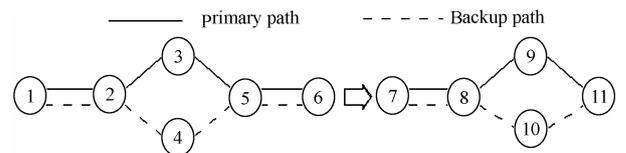


图 1 DNAA 中的可用性分析
Fig.1 Connection-availability in DNAA

$$c_{ij} = \begin{cases} -\ln(\xi \cdot a_{ij}), & (i, j) \in P_l \\ -\ln a_{ij}, & SW_{ij \notin P_l} \neq \phi \\ +\infty, & SW_{ij \in P_l} = \phi \end{cases} \quad (9)$$

3 动态业务网络的可用性算法(DNAA)

P_{old} 为上一次测量的网络运行性能值。 P_{new} 为这次测量的网络运行性能值。 $flag$ 为上次网络向连接请求提供的可用性改变的趋势, 0 表示减小, 1 表示增加。

下面是 DNAA 的具体步骤:

第 1 步 给定网络物理拓扑、链路可用性值、分离程度系数 ξ 及初始网络可用性 A 。

第 2 步 等待业务连接请求 $r(s,d)$: 如果请求为连接建立请求, 跳转至第 3 步; 如果请求为连接释放请求, 跳转至第 5 步。

第 3 步 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(比如 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, 回到第 2 步; 要是存在, 计算该路径的可用性值有没有到达网络的可用性值 A , 要是可用性值不小于 A , 到第 4 步, 否则继续以下步骤。(2)根据式(9)修改链路代价, 并在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, 要是存在, 阻塞该请求, 回到第 2 步; 要是存在, 根据式(6)计算工组路配以保护路的可用性, 要是达到了 A , 为该请求分配这组工作路和保护路, 到第 4 步, 否则, 阻塞该请求, 到第 2 步。

第 4 步 为 $r(s,d)$ 分配资源, 修改网络使用资源: (1)对新增的工作路经过的链路的剩余波长数减小 1。(2)对保护路经过的链路分两种处理: 要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; 要是重新分配了波长, 则该段链路的空闲波长减 1, 并记录保护信息。(3)要是接受连接的数目加上阻塞连接的数目大于等于了一个固定数目(仿真中为 200)时, 到第 6 步, 否则到第 2 步。

第 5 步 释放 $r(s,d)$ 所占资源: 释放一连接时, 更新其每段链路的使用情况, 工作路经过的链路的剩余波长数加 1, 若有保护, 对保护路通过的链路有两种处理: 要是有多对业务共享了该段保护链路, 只需在该链路上更新这个共享信息, 要是该业务独享该保护链路, 则该段链路的空闲波长加 1, 更新保护信息。到第 2 步。

第 6 步 修改网络向连接请求提供的可用性值: (1)这段时间接受的连接数除以该段时间到达的连接请求数得到这段时间内的业务接受率 R , 利用式(1)计算 P_{new} 。(2)比较 P_{new} 和 P_{old} : 若 $P_{new} > P_{old}$, 根据 $flag$ 值调用式(2)或式(3)改变网络向连接请求提供的可用性值 A ; $flag$ 为 0 说明上次是调低, 这次也应调低从而得到更好的网络运行性能; $flag$ 为 1 说明上次是调高, 这次也应调高从而得到更好的网络运行性能; 若 $P_{new} < P_{old}$ 根据 $flag$ 值调用式(2)或式(3)改变网络向连接请

求提供的可用性值 A ; $flag$ 为 0 说明上次是调低, 这次调高从而得到更好的网络运行性能; $flag$ 为 1 说明上次是调高, 这次调低从而得到更好的网络运行性能。并为 $flag$ 重新赋值。(3) $P_{old} = P_{new}$ 。

4 仿真分析

采用 NSFNET 骨干网, 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 4 种情况, 分别为 0.95~0.97 均匀分布, 0.99~0.992 均匀分布, 0.995~0.997 均匀分布, 0.9995~0.9997 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。连接请求以平均速率为 β 的泊松过程到达。到达请求的源、宿节点在所有节点间随机选定, 允许一对节点间同时存在多条连接。对于到达的每个连接请求, 要求为它建立满足当时可用性要求的连接。如果建立不成功, 则拒绝该次请求。一旦被拒绝, 就立即丢弃。仿真时设每根光纤可支持 7 个波长, $\beta=40$, $\mu=1$, $\xi=0.01$ 。仿真 10^5 业务到达。

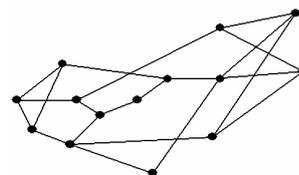


图 2 NSFNET 网络拓扑
Fig.2 NSFNET topology

图 3 是链路可用性 0.9995~0.9997, 网络负载为 40, 网络向连接请求提供的可用性值初始值为 0.90, 通过调整可用性得到最好的网络运行性能。图 3 中的数据为网络运行了一段时间后, 网络向连接请求提供的可用性和网络运行性能的变换情况。当网络向连接请求提供的可用性增大时, 网络的运行性能也在增加, 当网络运行性能达到最好值 0.9 时, 不再改变网络向连接请求提供的可用性, 此时可用性值为 0.998, 这个值就是网络的可用性。链路可用性取值为 0.95~0.97, 0.99~0.992, 0.995~0.997 时, 得到了相似的结果, 对应的网络可用性见图 4。当网络以该可用性值向连接请求提供可用性时, 网络的运行性能是最好的, 从网络运营商的角度来说就是该网络以此可用性值向连接请求提供可用性时, 网络的收益最大。

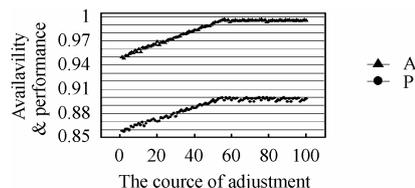


图 3 DNAA 算法的稳定过程

Fig.3 The course of DNAA to get stable value

图 4 中, 在相同负载下, 4 种链路可用性得到了 4 种网络可用性, 链路的可用性越高, 网络的可用性就越高。图 5

是链路可用性在 0.995~0.997 均匀分布，初始可用性值分别为 0.90 和 0.999，经过 200 次左右的调整，网络运行性能达到最好，可用性稳定在 0.986。图 6 中，链路可用性在 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网络运行性能的前提下，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。

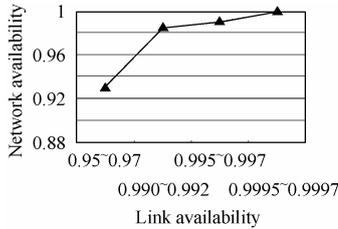


图 4 4 种链路可用性下的网络可用性
Fig.4 Four cases of link availability

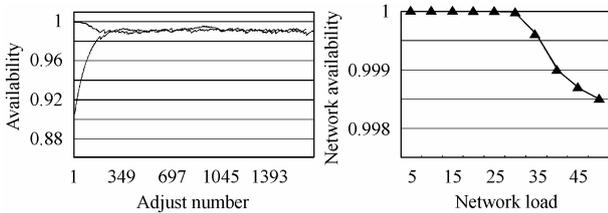


图 5 初始值分别为 0.9 和 0.99 的网络可用性调整过程
Fig.5 Offered availability starts from 0.99 and 0.9

图 6 不同负载下的网络可用性
Fig.6 Network availability under different loads

验证算法的正确性：图 7 中，链路可用性 0.995~0.997，负载为 40，让所有的连接请求要求同一可用性值，可以看到当网络运行性能最好时，并且网络的可用性值最大时就是仿真测出来的网络可用性 0.986，继续增大可用性，使接受率降低的幅度大于可用性增加的幅度，网络的运行性能下降。图 8 中，链路可用性 0.9995~0.9997，负载为 40，可以

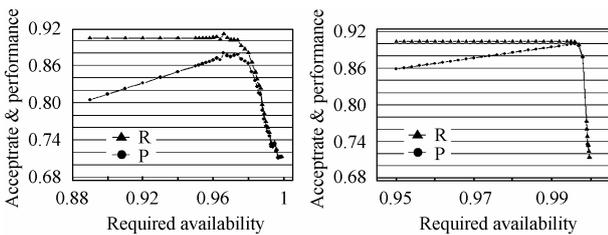


图 7 网络可用性为 0.986 的网络
Fig.7 The network with 0.986 network availability

图 8 网络可用性为 0.998 的网络
Fig.8 The network with 0.998 network availability

看到在当网络运行性能最好时，连接请求要求的可用性值就是仿真测出来的网络可用性 0.998。都与图 4 中 DNAA 得到的网络可用性吻合。

5 结束语

本文研究了在 WDM 网络中，针对动态业务情况下，网络运行性能和网络可用性的问题。定义网络运行性能等于业务的接受率乘以网络向连接请求提供的可用性。并设计了算法(DNAA)，来得到当网络负载一定、网络运行性能最好时，网络向用户提供的可用性。该可用性就是网络在这种网络负载下的网络可用性。最后的仿真验证了算法的正确性。

当网络向用户提供不同的可用性时，如何计算网络可用性是下一步的研究工作。

参考文献

- [1] Yu M, Xie B. An analytical availability model for MPLS networks with end-to-end IP resilience[A]. Computers and signal Processing IEEE Pacific Rim Conference[C], Victoria, 2003: 820-823.
- [2] Vogt M, Martens R, Andvaag T. Availability modeling of services in IP networks[A]. Design of Reliable Communication Networks[C], Banff, 2003: 167-172.
- [3] Wang Yao, Byrav Ramamurthy. Survivable traffic grooming with differentiated end-to-end availability guarantees in WDM mesh networks[A]. Local and Metropolitan Area Networks[C], Lanman, 2004: 87-90.
- [4] J Zhang, et al.. A new provisioning framework to provide availability-guaranteed service in WDM mesh networks [A]. IEEE ICC [C], New York, 2003: 1484-1488.
- [5] J Zhang, K Zhu, B Mukherjee. Service provisioning to provide per-connection-based availability guarantee in WDM mesh networks [A]. Optical Fiber Communication Conference [C], Washington, DC. 2003: 622-624.
- [6] 何荣希, 温海波. WDM 网中基于服务等级约定限制的动态共享通路保护算法. 电子学报, 2005, 33(4): 613-619.

林蓉平：男，1980 年生，硕士生，从事光网络可用性 & 保护方面的研究。
王 晟：男，1971 年生，博士，副教授，目前主要研究方向为通信网与宽带通信技术。
李乐民：男，1932 年生，教授，博士生导师，中国工程院院士。目前主要研究方向为宽带通信网和数字信息传输。