

具有生存性的 Overlay 网络构建方法^{*}

赵季红, 马文涛, 王 力, 唐 睿

(西安交通大学 电信学院, 西安 710049)

摘要: 针对现有网络在可靠性和服务质量方面所存在的缺陷,以增强网络生存性为目标,对现有 IP 网络的生存性机制进行了研究。以路径相异性为基础,提出一种具有生存性的 Overlay 网络构建方法。构建过程使用重叠惩罚思想为每个源—目的对按照业务的 QoS 参数计算合适的路径,由这些路径构成节点对之间的 Overlay 虚拟拓扑。此网络拓扑不仅可以保证故障情况下的合理路径快速倒换,而且可以满足业务的需求。使用路径相似度和路径查询时间两个指标对基于重叠惩罚的路径选择算法进行了评价,仿真结果表明本算法可以按照业务的参数计算出满足业务需求的合理路径,可以顺利地构造出面向业务的具有生存性的 Overlay 网络。

关键词: 生存性; Overlay 网络; 路径相异性; 重叠惩罚; 路径相似度; 路径查询时间

中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3861-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.068

Method to construct Overlay network with survivability

ZHAO Ji-hong, MA Wen-tao, WANG Li, TANG Rui

(School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In view of the defect of the existing network in reliability and service quality, enhancing network survivability as a goal, researched on the survivability mechanism of the existing IP network. Based on the path diversity, this paper put forward a kind of construction method of survivability Overlay network. During the construction process, computing suitable path using the thought of overlapping penalty and according to the QoS parameter of the service for each source destination, constructed the Overlay virtual topology by the path between the pair of the nodes. The network topology can not only ensure the path switching as the condition of the fault, but also can meet the needs of the business. It evaluated the path selection based on overlapping by two indicators that was the similarity of path and the path query time, the simulation results show that the algorithm can calculate the reasonable path that can meet the needs of the business in accordance with the operational parameters, so can construct the survivability Overlay network orienting the business successfully.

Key words: survivability; Overlay network; dissimilarity of path; overlapping penalty; similarity of path; query time of path

0 引言

随着网络技术的发展,各种新型业务不断涌现,传统的尽力而为的 IP 网络无法保证新的业务类型所需要的服务,出现业务 QoS 无法得到满足和资费不能根据业务进行收取等问题,并且在网络出现故障后,无法提供区分业务的生存性策略。目前,为了增强 IP 网络的生存性,在 IP 层提出了相应的快速重路由机制^[1-3],但在这些机制中有些需要对网络中路由器节点运行的原始路由协议进行修改以满足需求^[1,2],而其他则需要对 IP 包头进行修改^[3],这样会增加路由器节点的工作负担,降低路由器的工作效率。并且这些机制不能提供面向业务的生存性机制,而且对于运营商来说,通过修改现有网络中的一些基础设施来增强网络生存性也不理想。Overlay 网络是一种根据特定的技术,通过增加特殊的节点建立在一个或者多个已存在网络之上的网络,以此来改善下层网络的一些属性,增强网络的服务能力。并且在构建了 Overlay 网络后,若有新的业

务出现,不需要网络内部节点的改变,就可以满足新业务的传输需求。正因为 Overlay 网络所具备的优良特性,使得通过构建 Overlay 网络来解决网络应对日益增加的新型业务需求的可行方法。

1 相关工作

通过构建 Overlay 网络,使得该网络可以增强底层网络的传输可靠性,并且满足不同业务的需求,从而提高整个网络的生存性,因此现在对于 Overlay 网络的构建方法得到了业界的广泛研究^[4-9]。在不改变网络基础设施的条件下,可以使用路径多样性来提高网络中数据传输的可靠性^[10-12],从而增强 IP 网络的生存性。利用路径多样性提高网络可靠性的方法主要有 Overlay^[4]和 Multi-homing^[9]。Andersen 等人^[4]提出一种弹性 Overlay 网络 RON,它可以使应用快速检测到路径的失效和周期性的性能降低现象,从而达到快速恢复。但是在 RON 中需要每个节点都要维护一个与网络规模同样大小的路由信息

收稿日期: 2012-02-13; 修回日期: 2012-04-01 基金项目: 国家无线重大专项资助项目(2010ZX03,2011ZX03)

作者简介: 赵季红(1963-),女,陕西西安人,教授,博士,主要研究方向为通信工程与通信网络(eeleeg@gmail.com);马文涛(1979-),男,博士研究生,主要研究方向为通信工程与网络;王力(1985-),男,博士研究生,主要研究方向为通信工程与网络生存性;唐睿(1989-),男,甘肃兰州人,硕士研究生,主要研究方向为通信工程与网络。

库来支持路径的选择,同时由于使用的探测机制,其扩展性不强。而更多构建 Overlay 的方法则是根据不同的问题来提出相应的构建方案。文献[5]从 P2P 网络的构建出发,针对已有的方法并没有考虑到下层网络拓扑结构,因此会出现虽然在覆盖网上所查询到的路径的跳数少,但存在实际延迟的问题,以小世界理论为基础提出一种网络敏感的新 P2P 覆盖网络构建方法。文献[6]运用地标聚类和相关路径选择策略,构建了一种 Mesh 结构的 Overlay 网络,它可以适应物理拓扑且适用于实时大流量业务的传输,能够解决 Overlay 网络的连接延时长、抖动大的问题。文献[7]根据底层网络位置信息来建立 P2P 覆盖网,该覆盖网中每个节点都选择与本节点物理距离相近的节点作为自己的邻居,逻辑上相邻的节点也是物理上相近的节点。由于路由路径中每跳的延时都较低,这使得所建立的覆盖网络具有非常低的延时伸展率。Habib 等人^[9]则从 Overlay 网络的多路径路由方面进行了研究,提出一种基于拓扑的可靠 Overlay 多路径路由方法,它采用主动路径优先(active-path-first, APF)策略来查询可以减小联合故障概率的第二条 Overlay 路径。

在以上 Overlay 网络的构建方法中都是根据特定的问题采用一定的方法来构建合适的 Overlay 网络,而对于充分利用网络中的相异路径来增强网络生存性没有深入研究,虽然在文献[8]中提到了 Overlay 的多路径路由,但是对多路径的计算未涉及,并且在 Overlay 网络中节点之间路径的建立是通过探测得到的,随着网络结构复杂度的增加,探测带来的代价也就相对较高。因此文中充分考虑到相异路径的特性,以改善 IP 网络的生存性为目标,构建一种具有生存性的 Overlay 网络方法。该方法以业务 QoS 参数为指标,考虑到底层 IP 网络拓扑结构,使用重叠惩罚思想的路径选择算法为 IP 层每个源一目的对计算多条相异性路径,由这些路径构成 IP 网络结构之上具有不同生存能力的 Overlay 虚拟网络,满足不同业务的 QoS 需求。所建 Overlay 网络中包含性能最优的主用传输路径和相应的保护路径。若主用路径发生故障,系统可以启动全局保护机制,顺利地将业务倒换到满足业务需求的保护路径中进行传输,从而增强业务传输的生存性。

2 具有生存性 Overlay 网络的构建思想及其架构

在构建具有生存性能力的 Overlay 的过程中,需在 IP 网络拓扑中抽象出具有生存性的虚拓扑,从而增强原网络的生存性。

受相异多路径的启发,基于重叠惩罚算法为每个源一目的对建立多条相异路径,由这些路径构建具有生存性的 Overlay 网络。其基本思路是:在网络拓扑中,业务层首先根据业务类型确定业务的 QoS 等参数(时延、丢包率等);然后在 IP 层根据业务需求参数使用 Dijkstra 最短路径算法计算源一目的对之间的最优路径,将其映射成为一条虚拟链路;接着对出现在最优路径上的链路进行惩罚,完成之后再使用相同的思路继续计算次优路径;最后寻找满足条件的保护路径,直到找到了指定数目的保护路径,或者路径的惩罚值大于某个预先约定的值。至此,通过以上过程可以计算出此源一目的对之间的多条路径,由这些路径中的链路和节点可以抽象出虚拟拓扑结构,

从而建立面向业务的具有良好生存性的 Overlay 网络拓扑。

构建的 Overlay 网络位于 IP 网络与应用层网络之间,是对 IP 网络中节点/链路的一个抽象。图 1 为所构建的具有生存性的 Overlay 网络构架。

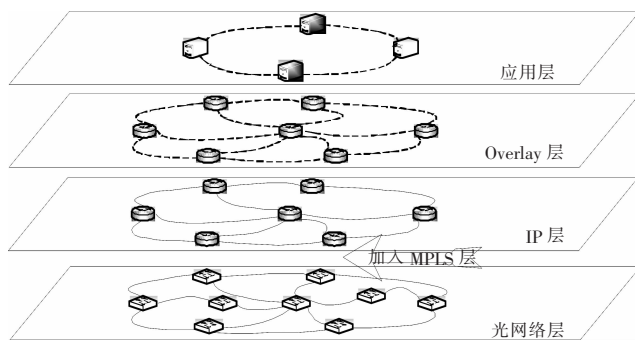


图 1 生存性 Overlay 网络架构

3 基于重叠惩罚思想的路径选择算法

根据构建具有生存性的 Overlay 网络的思想,可知如果在 IP 层所选的保护路径和原始最优路径的链路重复度比较高时,当原始最优路径出现问题,替换路径出现问题的概率也会大大提高,从而不利于业务的倒换。为此提出基于重叠惩罚算法的“绕行”路径选择机制可以很好地避免这种问题。

3.1 路径选择方法的几个相关定义

为了描述本算法,采用一般网络模型 $G=(V,E)$ 。其中: V 表示节点集, E 表示链路集。对于网络中的每条链路 (i,j) ,均有一个广义的时延代价与之对应。一个源一目的对之间的路径由一系列链路构成 $\{(i_s, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_{d-1}, i_d)\}$ 。

定义 1 合理绕行路径。一条非原始路径(在业务初始传输时,未被选作业务传输的路径),如果它不仅具有可接受的时延等一些属性,而且与所选出的原始路径(业务初始传输时所选择的路径)在链路上存在较大的差异,则称其为一条合理绕行路径。

定义 2 路径的 s -相似。如果某条可绕行路径 k 与原始路径所共享的链路数与其总的链路数之比为 s ,就称此绕行路径与原始路径 s -相似。

定义 3 时延的 d -相似。如果某条可绕行路径 k 的总时延与原始路径的总时延之比为 d ,就称此绕行路径与原始路径 d -相似。

对于选择满足以上定义的 k 条合理路径,是需要满足如下约束条件的:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} c_{ij} \\ & \text{s. t. } \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} c_{ij} \leq d_{\max} \\ & \frac{\sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k c_{ij}^l}{N^k} \leq s, \forall l, k \cap (l \neq k) \\ & \frac{\sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k d_{ij}^k}{d_s} \leq d \\ & \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} - \sum_{(i,j) \in E} c_{ji} = \begin{cases} 1 & i = s \\ 0 & \forall i \in V - \{s, d\} \\ -1 & i = d \end{cases} \end{aligned}$$

其中: d_{ij} 为节点 $i \sim j$ 的链路代价(可以为时延、带宽、丢包

率等);

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } (i,j) \in P_i \text{ (表示是所选路径中的链路)} \\ 0 & \text{other conditions} \end{cases}$$

k 为新产生的路径编号; l 为已经识别出来的路径编号; $d_{\max}$ 为业务所能承受的最大代价上限; d 为找到的相异路径与最短路径之间代价比例的上限值; d_s 为最短路径的代价; c_{ij}^k 为找到的第 K 条相异路径在链路 (i,j) 之间的代价; s 为找到的第 K 条相异路径与最短路径所共享的链路与最短第 K 条路径中总链路数目的比值的上限; N^k 为找到的第 K 条相异路径中所包含的链路数目。

3.2 路径选择算法

对于求解满足定义 1 中所述约束条件的路径选择问题,是一个非常繁琐且复杂的过程。文中采用重叠惩罚算法来解决该问题。图 2 为算法流程。

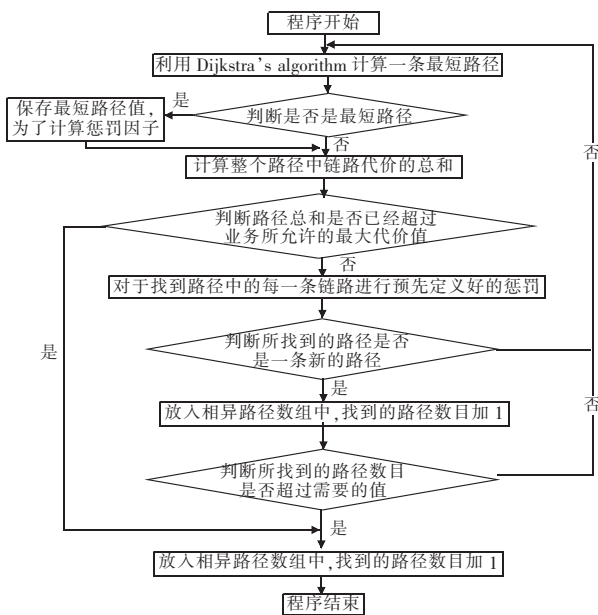


图 2 基于重叠惩罚思想的多路径选择算法流程

具体实现步骤如下:

a) 确定链路状态、各条链路上的时延代价大小、初始节点、目的节点、惩罚因子大小、惩罚方式,并初始化目前找到的路径数目为 0。

b) 利用 Dijkstra 算法计算给定拓扑图中的最短时延代价路径,并记录最短路径长度,为了之后计算链路的惩罚因子。

c) 计算链路的时延代价,判断其是否超过业务所能允许的最大时延值,如果超过,则转到步骤 h); 否则转到步骤 d)。

d) 对于当前路径中的链路预先定义好惩罚措施。

文中采用如下重叠函数更新所有 k 条路径的广义时延代价:

$$Gd_e^{k+1} = Gd_e^k f(P_1, P_2, \dots, P_k)$$

对于重叠惩罚函数使用如下形式:

$$f(P_1, P_2, \dots, P_k) = (1 + \frac{\delta}{d_s})^\beta$$

惩罚函数的意义是:当一条链路出现在合理路径中的次数越多,该链路再次被使用的可能性就越小。重叠惩罚参数的大小决定了对重复链路的惩罚强度。其中:

Gd 为广义代价; Gd_e^k 为第 K 次循环时链路 e 的广义代价;

P_k 为已经识别的第 K 条路径; $f(P_1, P_2, \dots, P_k)$ 为链路代价更新的重叠惩罚函数; δ 为重叠惩罚参数; d_s 为起始点到终止点的最小代价; β 为链路 e 当前已经被使用的次数。

e) 判断当前找到的路径是否与此之前找到的所有路径都不相同,如果不是,则回到步骤 b); 否则转到步骤 f)。

f) 把新找到的路径放入相异路径数组中,并且将目前找到的路径计数器加 1。

g) 判断目前找到的路径计数器值是否达到预先要求的值,如果达到,则转到步骤 h); 否则转到步骤 b)。

h) 退出程序,输出目前找到的路径和相应的广义时延代价。

4 仿真实验

4.1 仿真拓扑建立

为了说明文中算法的合理性,采用如图 3 所示的拓扑结构进行仿真。该拓扑图包含 10 个节点,其初始条件设置为:节点 1 和 10 分别为起始节点和目的节点,需选择的路径数目为 10,惩罚因子为 2.0,业务最大时延值定为 200,路径时延的最大随机值为 20,而其中每条链路的时延值进行随机选取。

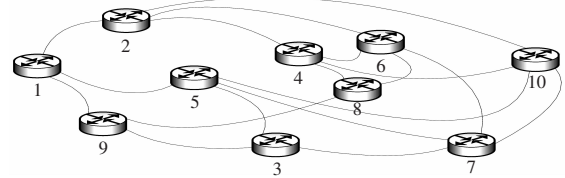


图 3 仿真实验所用拓扑结构示意图

4.2 仿真思路

在仿真过程中主要遵循以下思路:a) 对 IP 层物理链路状态进行初始化,确定所求路径的起始节点、目的节点和所需要寻找的路径数目;b) 对链路时延进行随机化处理,使所有的链路时延服从随机均匀分布;c) 根据基于惩罚思想的路径选择算法求解符合条件的相异路径;d) 对于所找到的相异路径计算路径相似度和替换路径的查询时间;e) 根据路径相似度和路径查询时间,在相同拓扑结构中,比较分析文中算法和 K 最短路径算法 (K -shortest path, KSP) 的性能。

为了进行文中算法与 K 最短路径算法的比较,定义路径相似度和路径查找时间:

(a) 路径相似度,指对于所有满足条件的相异路径,它们彼此之间重复的链路数目总和。

(b) 替换路径的查询时间,指对于最优路径中的第一条链路,如果它出现故障,从第二条路径开始需要查找到有效替换路径所需要的查找次数。

4.3 仿真结果分析

根据路径相似度与路径查询时间的定义可知路径相似度体现了从源节点到目的点之间所有相异路径彼此的相似程度。此值越小说明相异路径之间的差别越大,重复路径数目越少,从而在最优路径出现故障之后,该故障对于其他路径产生影响的可能性越小,找到替代路径的可靠性越高。而路径查询时间体现了最优路径出现故障后,其他替代路径的有效性。该值越小表示找到替代路径的速度快,同时由于寻找替代路径的顺序

是按照代价从小到大的顺序进行,所以找到的替代路径所花费的代价也越低,有效性高。基于以上分析,使用这两个指标来评价文中算法所计算出的路径质量,从而可以得知所构建的具有生存性 Overlay 网络的性能。

1) 路径相似度的比较

如图 4 所示,对本文算法和 K 最短路径路由算法在路径相似度方面进行了比较。其中:图 4(a)(c)(e) 为 K 最短路径路由算法结果,(b)(d)(f) 为本文算法结果。从图 4 可知,当测试次数不是很多时,两者在路径相似度的差距不明显。这是由于次数较少时,随机性对于结果的影响比较大;而随着测试次数的增加,可知文中路径选择算法在路径相似度方面有着相对于 K 最短路径算法的优越性,因为使用了重叠惩罚算法后,使得已使用的链路的权值被惩罚,在下次路径计算的过程中被选中的几率大大减小,所以路径相似度相对来说就比较小,有利于满足业务需求。

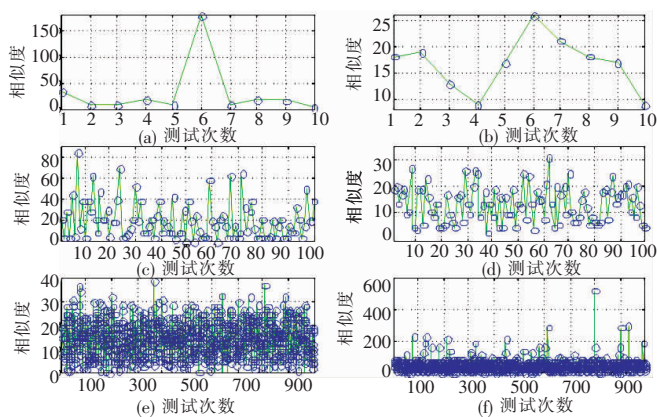


图 4 路径相似度比较结果

2) 路径查询时间的比较

在路径查询时间方面,如图 5 所示,其中图 5(a)(c)(e) 为 K 最短路径路由算法结果,(b)(d)(f) 为本文算法结果。相对于 K 最短路径算法,由于本发明算法强调的是计算出性能比较合理(即性能非常接近于主用路径)的路径,因此在合理路径查询过程中也体现出一定的优越性,即在较短的时间里就可以查找相应的合理路径。

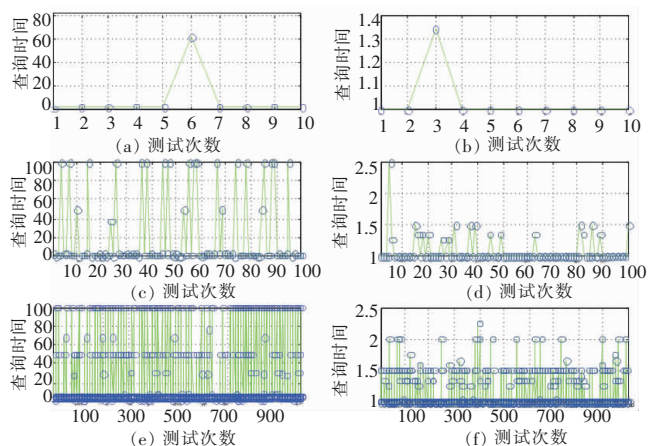


图 5 路径查询时间比较结果

表 1、2 分别为运行两种算法各 10 次、100 次、1 000 次,取平均的方式所得到的路径查询时间和路径相似度的比较结果。从表中可看出本文算法所计算出来的路径相对 KSP 的性能具有一定的优越性。

表 1 路径相似度的比较

算法	运行次数		
	10	100	1 000
KSP	30.20	19.57	24.72
本文算法	16.70	13.47	13.81

表 2 路径查询时间的比较

算法	运行次数		
	10	100	1 000
KSP	13.20	21.35	23.38
本文算法	1.03	1.09	1.10

5 结束语

以重叠惩罚思想的多路径选择算法为基础,提出一种构建面向业务的具有生存性的 Overlay 网络的方法。算法中解决了如何选择工作路径和保护路径的问题,在业务 QoS 参数得到满足的前提下,为工作路径计算多条保护路径,并且可以保证这些路径之间具有很好的相异性。即使在工作路径中出现故障,保护路径也会很好地避开这些故障,不间断地传输业务数据。使用路径相似度和路径查询时间,对文中所述路径选择算法和传统的 K 最短路径算法进行了比较分析,本算法可以避免工作路径与保护路径之间的重复性,并且随着网络拓扑复杂程度的增加,算法的各项性能参数更加稳定可靠,为构建具有生存性能力的 Overlay 网络提供了保障。

参考文献:

- [1] ZININ A A. RFC5286, Basic specification for IP fast reroute: loop-free alternate[S]. 2008.
- [2] HANSEN A F, CICIC T, GJESSING S. Alternative schemes for proactive IP recovery[C]//Proc of the 2nd Conference on Next Generation Internet Design and Engineering. [S. l.]: IEEE Press, 2006: 1-8.
- [3] PRZYGIENDA T, SHEN Nai-ming, SHETH N. RFC5120, M-ISIS: Multi topology routing in IS-IS[S]. 2007.
- [4] ANDERSEN D, BALAKRISHNAN H, KAASHOEK E, et al. Resilient Overlay networks[C]//Proc of the 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles. New York: ACM Press, 2001: 131-145.
- [5] 任平凡, 黄东军. 一种网络敏感的结构化小世界 P2P 覆盖网络[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(8): 3115-3118.
- [6] 狄明戴, 琼海. 一种基于 Mesh 结构 Overlay 网络的构建算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 24(3): 138-140.
- [7] 张小明, 王意洁. 位置感知的覆盖网构建算法[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(6): 124-128.
- [8] TANG Chi-ping, McKINLEY P K. Improving multipath reliability in topology-aware overlay networks[C]//Proc of the 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2005: 82-88.
- [9] HABIB A, CHUANG J. MMS: a multihome-aware media streaming system[C]//Proc of the 13th Multimedia Computing and Networking Conference. 2006: 7106-7109.
- [10] MA Zheng, SHAO Huai-rong. A new multi-path selection scheme for video streaming on overlay networks[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. Paris: IEEE Press, 2004: 1330-1334.
- [11] De MAURO A, SCHONFELD D, CASETTI C. A peer-to-peer Overlay network for real time video communication using multiple paths[C]//Proc of IEEE in ICME. [S. l.]: IEEE Press, 2006: 921-924.
- [12] MARK B L, ZHANG Shi-dong. A multipath flow routing approach for increasing throughput in the Internet[C]//Proc of IEEE PacRim. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 21-24.