

基于阴性选择的网络限制洪泛算法

陈铎龙¹, 孟相如¹, 徐 有¹, 袁荣坤²

(1 空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077; 2 93279 部队, 辽宁 丹东 118000)

摘 要: 为使网络在洪泛故障信息时洪泛时延和业务质量两方面性能都能够得到改善, 提出了一种基于阴性选择的限制洪泛算法。该算法根据网络环境对洪泛时延和业务损失的侧重程度, 分别给出了洪泛时延与业务损失两方面代价函数以及综合两方面因素的优化目标函数, 利用阴性选择算法进行寻优, 计算出能够最大程度适应网络需求的限制洪泛范围, 通过对故障的洪泛范围进行限制, 将故障洪泛对网络造成的影响降低到最小。实验结果表明该算法能够改善网络的性能。

关键词: 网络抗毁性; 故障隔离; 阴性选择; 限制洪泛

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)09-0053-05

A Constrained Network Flooding Algorithm Based on Negative Selection

CHEN Duo-long¹, MENG Xiang-ru¹, XU You¹, YUAN Rong-kun²

(1 School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;

2 93279 Unit of the PLA, Dandong 118000, China)

Abstract: An algorithm for constrained flooding based on negative selection is proposed to improve delay of flooding and quality of operation when the network transmit the fault information. According to the network environment different demand between delay of flooding and quality of operation, cost function of flooding delay and operation losing are set, the optimizing objective function synthesizing two factors is also set, and negative selection algorithm is used to compute the area of constrained flooding. The experimental result shows that this algorithm can improve the capability of the network.

Key words: network invulnerability; fault isolation; negative selection; constrained flooding

1 引言

当网络系统需要进行状态更新或某些器件发生故障时, 网络就会对状态或故障信息进行大范围的洪泛, 并针对故障采取相应的故障恢复技术。在传统的 OSPF 协议中^[1], 当网络发生故障后, 检测到故障的网络节点会向网络中的其它节点发送故障信息, 同时根据自己掌握的路由信息更新自己的路由表, 这种方法虽然可以保证网络总可以找到绕开故障链路的路由, 但其收敛速度缓慢, 不适于实时业务, 且全网络范围洪泛故障信息可能会导致网络的振荡;

针对传统协议收敛速度缓慢而采用的快速收敛方法^[2]同样会造成网络振荡以及带宽资源的浪费, 不能全面的提高网络的可生存性能; 主动式的重路由技术^[3]虽然有效解决了网络收敛速度缓慢与服务质量的下的问题, 但重路由技术仅仅是短时间内保证业务正常运行的方法, 依然没有解决网络的稳定性问题, 因此, 网络的稳定性问题一直是网络可生存性研究领域的重点。

文中提出一种基于阴性选择的限制洪泛方法, 并对该方法进行计算机仿真和性能分析, 给出了结论。

收稿日期: 2012-11-20; **修回日期:** 2012-12-22

基金项目: 国家自然科学基金(61201209); 全军军事学研究生课题(2011JY002-524)

2 故障隔离技术

故障隔离技术从不同角度有着不同的分类方式^[4],从发生故障部位可分为链路故障隔离、节点故障隔离;从发生故障类型可分为硬件故障隔离和软件故障隔离;从故障隔离的技术手段上可以分为故障定位技术、限制洪泛技术和主动重路由技术等。

故障定位技术^[5],即利用事件/告警关联等手段,根据观察到的事件或告警进行分析,推测出故障位置和原因的技术,为后续对故障进行隔离和恢复提供信息。

限制洪泛技术^[6],利用限制故障信息洪泛范围或限制故障信息容量的方法,减少因故障信息在全网络范围内洪泛而造成的网络振荡与带宽资源的浪费。限制洪泛技术,可以有效的将故障对全网络的影响限制在一定范围之内,保证了网络的稳定性。

主动重路由技术^[3],指网络利用 IP 备用路径、多路径备份或多拓扑等先应式方法,对网络中的故障进行恢复的过程。主动重路由技术能够在故障发生的较短时间内自动恢复故障或重建路由,保证网络业务的正常运行。

本文重点从限制洪泛技术着手,提出一种基于阴性选择的限制洪泛算法。

3 基于阴性选择的限制洪泛技术

传统的限制洪泛算法大都从减少洪泛时延或尽量保证业务服务质量入手,本文将综合考虑时延与服务质量,对限制洪泛技术进行研究。

3.1 优化目标函数

事实表明,不同的外部环境以及不同的承载业务对网络所提出的需求是不同的,因此需根据环境的不同综合权衡时延与服务质量因素,寻找出相对较优的洪泛范围。下面对优化目标函数所需的变量做如下定义:

设节点 r 检测到链路故障后,会被洪泛到的节点所组成的集合为 $V_{\text{flood}}(r)$,且 $V_{\text{flood}} \subseteq V$ 。

(1) 洪泛时延代价

在信息网络中,网络的洪泛时延与网络链路的代价有着密切的联系,因此使用链路代价表示洪泛时延代价,洪泛集合 $V_{\text{flood}}(r)$ 的洪泛时延代价可以描述为:

$$T(r) = \frac{\max[\text{length}(\text{spt}(r, v_i))] - \min[\text{length}(\text{spt}_b(r))]}{\max[\text{length}(\text{spt}_b(r))] - \min[\text{length}(\text{spt}_b(r))]} \quad (1)$$

$v_i \in V_{\text{flood}}(r)$

其中, $\text{spt}_b(r)$ 表示以 r 为根节点生成的最短路径树的某一条树枝, $\text{spt}(r, v_i)$ 表示以 r 为根节点生成的最短路径树中,节点 r 到节点 v_i 的路径。式(1)通过将洪泛范围内最大的路径代价进行归一化,描述洪泛时延代价。

(2) 洪泛业务损失代价

在传统的洪泛协议中,当检测出链路发生故障后,LSA 会发送至域内的所有路由器。这样可以保证所有的路由器都能够及时的更新路由信息,保证承载业务的正常运行,但全网络范围内的洪泛会造成洪泛时延的增加以及网络稳定性的下降,因此限制洪泛技术被提出。在限制洪泛中,LSA 只被发送到指定范围内的路由器,这样能够减少洪泛时延,并将故障对网络的影响限制在了一定范围内,另一方面,洪泛范围较小会导致链路信息无法及时传播,洪泛范围之外的路由器仍然会使用原先的路由表,造成业务的损失。

业务损失代价描述为:

$$R_{\text{loss}}(r) = \frac{\sum_{v_n=1}^{n-|V_n|} \sum_{v=1}^{n-1} \text{path}(v_n - v)}{(n - |V_n|)(n - 1)} \quad (2)$$

$v_n \notin V_{\text{flood}}(r)$

式中表示的是节点 r 检测到链路故障后使用洪泛集合 $V_{\text{flood}}(r)$ 造成的业务损失代价, $\text{path}(v_n - v)$ 表示路径 $v_n - v$ 使用现在的路由表路由是否畅通,若畅通则值为 0,反之为 1, v_n 是洪泛集合之外的任一节点,而 v 是除节点 v_n 外的任一节点, V_n 是所有 v_n 所构成的集合。

(3) 目标函数

由于设定限制洪泛的范围会同时影响洪泛时延和业务损失两方面因素,所以在设定洪泛范围时必需根据网络环境与承载业务的需求综合考虑洪泛时延和业务损失两方面因素。因此,综合考虑两方面因素的优化目标函数可以定义为:

$$F_{\text{flood}}(r) = \alpha T(r) + (1 - \alpha) R_{\text{loss}}(r) \quad (3)$$

式中, $F_{\text{flood}}(r)$ 是以节点 r 为源节点向洪泛集合 $V_{\text{flood}}(r)$ 洪泛 LSA 所付出的代价。 α 为时延影响因子且 $\alpha \in [0, 1]$,表示网络环境及网络承载业务对洪泛时延影响的重视程度, α 值越大,表示网络对时延影响越重视。

由式(1)~(3)可以看出,洪泛范围对网络的性能有着直接的影响,为在多个性能指标中达到较优,可以利用人工智能算法在网络中通过设定目标函数的方法寻找出较优解。

3.2 限制洪泛算法

传统的遍历式寻优方法由于方向性差,且未必能找到最优解,因此在确定限制洪泛范围时,需要使用智能算法进行寻优。

定义 1 向量 $N_{\text{flood}}(r)$ 定义为节点决定基,用以表示节点是否存在于以节点 r 为源节点的洪泛范围中,即该洪泛范围的特征, $N_{\text{flood}}(r)$ 表示为:

$$N_{\text{flood}}(r) = [nf_1, nf_2, \dots, nf_n] \quad (4)$$

式中,若节点 i 存在于洪泛范围中,则相应的 nf_i 值为 1,反之则为 0。

阴性选择算法能够对自体、非自体进行有效识别,生成非自体检测器,有效的为免疫系统筛选出合适的个体,在人工智能领域得到了广泛的应用。

(1) 阴性选择算法

在生物免疫系统中,为防止免疫细胞的过激反应,避免免疫细胞对自体进行杀伤,存在一种阴性选择机制,该机制能够删除免疫功能亢进的细胞,保留免疫功能正常的细胞,这种自身进行检测筛选的模式,被称为阴性选择算法^[7]。Forrest 于 1994 年提出人工免疫系统中的阴性选择算法,其基本原理如下:

假设免疫细胞与自体细胞的特征可由决定基表示,则决定基在人工智能中可用相应的字符串表示,规定 P_M 为特定匹配规则下两组字符串相互匹配的概率,那么一组字符串不与自体发生匹配的概率为 $1 - P_M$,当自体集合是由 N_S 个相互独立的元素组成,一组字符串不与自体集合中任意一组字符串发生匹配的概率 f 为:

$$f = (1 - P_M)^{N_S} \quad (5)$$

阴性选择算法的实质就是生成一个非自体检测器,将待检测的字符串与非自体检测器中的元素进行匹配,若双方相互匹配则该待检字符串就被列为有威胁的字符串。由该关系不难得出,初始非自体检测器数目 N_{R_0} 与成熟非自体检测器数目 N_R 之间的关系为:

$$N_R = N_{R_0} \times f \quad (6)$$

拥有 N_R 个成熟非自体检测器的检测器集合未检测到自体变化的概率为:

$$P_f = (1 - P_M)^{N_R} \quad (7)$$

则由式(6)、(7)知:

$$N_R = \frac{\ln P_f}{\ln(1 - P_M)} \quad (8)$$

$$N_{R_0} = \frac{\ln P_f}{(1 - P_M)^{N_S} \ln(1 - P_M)} \quad (9)$$

由此可以得出生成一个成熟非自体检测器集合

所需要的初始非自体检测器的个数。阴性选择算法的流程为:

定义自体集合 S 与相关参数,随机产生待匹配字符串与自体集合进行匹配,若相匹配则删除该字符串,若不匹配则将该字符串加入成熟非自体检测器集合 R ,最后通过将 R 与 S 进行比较起到监控外界抗原入侵的目的。在这种机制下,只要自体集合定义完整,一般情况下不会出现自体被识别为非自体的情况发生。

(2) 自体集合的设定

结合到限制洪泛技术,自体集合的设定应当考虑到洪泛集合所具备的基本条件,将不具备这些条件的个体放入自体集合,以便在生成非自体检测器时不会出现无效个体。

若节点 r 作为源节点,则其限制洪泛集合应该具备以下三点特征:

第一,洪泛集合应该是连通的。洪泛集合中包含的所有节点应当连通,如果不连通,则源节点的 LSA 无法洪泛至不连通的部分,也就无法实现 LSA 在洪泛集合内的传播。

第二,洪泛集合的传播时延代价不宜过大。限制洪泛的目的在于将 LSA 的传播限制在一定时延与范围内,如果洪泛集合传播时延过大,就与限制洪泛的目的相矛盾,因此需要控制洪泛集合的时延代价。

第三,洪泛集合的业务损失不宜过大。限制洪泛如果造成网络所承载的业务损失过大,则该洪泛集合不适应于限制洪泛。

自体集合可描述为:

$$\text{Self}(r) = [\text{Self}_1(r), \text{Self}_2(r), \dots, \text{Self}_x(r), \dots] \quad (10)$$

其中 $\text{Self}_x(r)$ 内元素为自体集合 $\text{Self}(r)$ 中第 x 个节点的节点决定基。

基于洪泛集合以上三个特征,自体集合 $\text{Self}(r)$ 中各元素的节点决定基 $N_{\text{flood}}(r)$ 应该具备以下几种特征中的一种或几种:

第一, $N_{\text{flood}}(r)$ 中节点构成的图不连通。

第二, $N_{\text{flood}}(r)$ 中节点构成的图的洪泛时延代价 $T(r)$ 大于时延阈值 δ_T ,即限制洪泛的时延超过了网络所能承受的范围。

第三, $N_{\text{flood}}(r)$ 中节点构成的图的业务损失代价 $R_{\text{loss}}(r)$ 大于业务损失阈值 δ_{loss} ,即限制洪泛造成的业务损失过大,对网络承载业务造成了较大影响。

(3) 亲合力计算

亲合力是自体集合中元素与免疫细胞元素之间

相互匹配的程度,亲合力越高,表示二者越接近,反之二者疏远。

定义 2 未成熟检测器与自体集合的亲合力定义为:

$$A_{x,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - |nf_i(x) - nf_i(y)|) \quad (11)$$

式中, $A_{x,y}$ 表示未成熟免疫细胞元素 x 与自体集合元素 y 之间亲合力的大小,其大小由元素内每一位序列码字决定,若两者相应位码字相同的位数越多,则二者亲合力越大。

(4) 限制洪泛算法流程

以上给出了限制洪泛所需要的智能算法与基本设定,下面将结合阴性选择原理提出一种限制洪泛的算法,其流程具体如下:

Step1. 令洪泛源节点编号 $r=1$;

Step2. 检查 r 数值,若 $r \leq n$,则根据源节点 r 以及本节自体集合的特征生成该源节点的自体集合,否则跳至步骤 Step6;

Step3. 随机生成一个长度为 n 的字符串,将该字符串与自体集合中元素进行匹配,若有自体集合中元素与该字符串亲合力为 1,则删除该字符串,重新生成一个新的字符串,若该字符串不属于自体集合中的元素,则将该字符串加入成熟检测器集合;

Step4. 检查成熟检测器集合的元素个数是否满足设定值,若不满足,则返回步骤 Step3,若满足,则进入步骤 Step5;

Step5. 比较成熟检测器中元素的优化目标函数值 $F_{\text{flood}}(r)$ 的大小,从中选出 $F_{\text{flood}}(r)$ 值最小的元素作为源节点 r 的洪泛集合 $V_{\text{flood}}(r)$ 存储,同时 r 自增 1,跳至步骤 Step2;

Step6. 完成所有节点的洪泛集合生成;

Step7. 当某节点检测到链路故障发生时,仅在该节点的洪泛集合内发送 LSA,算法结束。

该算法通过主动式方法,在节点检测到故障前就提前将该节点的洪泛范围作出规定,节省了发生故障时洪泛范围的计算时间,并从减少洪泛时延与业务损失两方面综合考虑对洪泛范围进行优化,下面将对该算法的性能进行实验分析。

4 算法性能分析

实验拓扑使用由 14 个节点和 21 条链路构成的 US 网络拓扑^[8],拓扑结构如图 1 所示。在一般网络环境中,由于系统通常具有多种手段保证网络业务可正常运行能力,因此在限制洪泛技术的研究中应

该更重视洪泛时延的影响,故时延因子设定为 $\alpha=0.7$,即网络更重视时延的影响,由于实验拓扑的规模较小,因此时延阈值 δ_T 与业务损失阈值 δ_{loss} 均设定为 1。

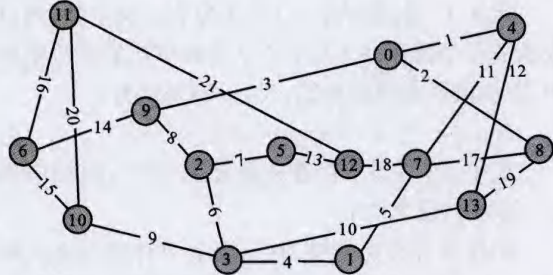


图 1 US 网络拓扑

4.1 时延改善分析

使用 Dijkstra 算法计算出 US 网络拓扑的路由表,分别采用本算法、文献[6]所述算法和不使用限制洪泛算法统计各个节点在洪泛 LSA 时所造成的时延代价。

由图 2 可以看出,基于连通支配集的限制洪泛算法主要思想是尽可能保护业务流量,因此其在减少时延代价的改善方面与未使用限制洪泛算法相比优势并不是十分明显,而在实验初始设置中对基于阴性选择的算法减小时延代价的能力提出了较高的要求,因此可以看出在实验中阴性选择算法的时延代价相比于另两种方法较小,证明基于阴性选择的限制洪泛算法有效的减小了洪泛时延代价。

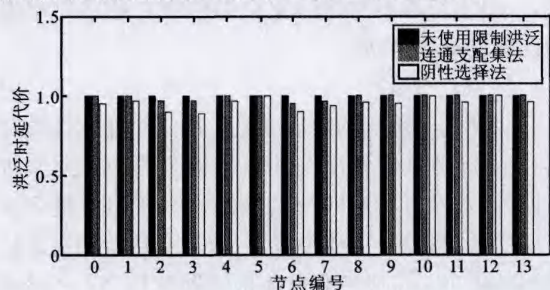


图 2 洪泛时延代价

4.2 业务损失改善分析

通过实验可以看出,基于阴性选择的限制洪泛算法在减小洪泛时延和业务损失方面根据网络的需求能够找到较优解,最大限度的保证网络的稳定性与服务质量。

5 结束语

本文提出的基于阴性选择的限制洪泛算法采用智能算法,在洪泛时延与业务损失两方面因素的综

合影响下寻找出每个节点最优的洪泛范围,进而从两方面最大限度的保证网络的稳定性与传输业务的可靠性.实验证明了该算法能够改善网络的性能.

参考文献:

- [1] Moy J. OSPF version 2[EB/OL]. (2012-10-19). <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.
- [2] Alaellinoglu C, Jacobson C, Yu H. Towards millisecond IGP convergence[EB/OL]. (2000-11-06). <http://www.nanog.org/meetings/nanog20/abstracts.php?pt=MTA3MiZuYW5vZzlw&nm=nanog20,2000>.
- [3] Xu Mingwei, Yang Yuan, Li Qi. Selecting shorter alternate paths for tunnel-based IP fast reroute[J]. Computer networks, 2012, 56(2): 845-857.
- [4] 武林平, 罗红兵, 艾志玮, 等. 大规模计算系统的主动故障管理方法[J]. 华中科技大学学报, 2010, 38(增刊1): 20-24.
- [5] 张亚普, 孟相如, 张立, 等. 基于 SVM 和模拟逻辑的告警相关性分析[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(2): 685-

688.

- [6] 于涛, 陈山枝, 秦臻, 等. 大规模灾害条件下基于连通支配集的重路由方案[J]. 高技术通讯, 2008, 18(1): 11-15.
- [7] 张宇. 人工免疫算法中阴性选择算法的研究[D]. 浙江: 浙江大学硕士学位论文, 2007.
- [8] Betker A, Gerlach C, Hulsermann R, et al. Reference transport network scenarios[R]. MultiTeraNet Project, 2004.

作者简介:

陈铎龙 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为网络可生存性增强技术.

孟相如 男, (1963—), 教授, 博士生导师. 研究方向为宽带通信网络技术.

徐有 男, (1977—), 硕士. 研究方向为宽带通信网络技术.

袁荣坤 男, (1986—), 硕士. 研究方向为网络可生存性.

(上接第 52 页)

- [4] 毕卓, 戴益君. 全定制 CORDIC 运算器设计[J]. 计算机工程与科学, 2011, 33(10): 64-69.
- [5] 王敏, 薛忠杰. 基于改进 CORDIC 算法的 NCO 设计[J]. 电视技术, 2011, 35(1): 30-33.
- [6] 李杰明, 郑学仁. 基于 CORDIC 算法的数字图像旋转

实现[J]. 电子技术应用, 2009(6): 72-74.

- [7] 段文伟, 于龙洋, 李署坚. 一种改进的 CORDIC 算法及其 FPGA 实现[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(2): 95-98.

作者简介:



任全会 男, (1978—), 硕士, 讲师. 研究方向为 ARM 和 EDA 技术.



吕春峰 男, (1971—), 硕士, 讲师. 研究方向为计算机网络和多媒体.