

GMPLS 网络中的多元故障传播模型

桂兵祥, 丰洪才

(武汉工业学院计算机与信息工程系, 武汉 430023)

摘要: 现有流行病传播模型的应用范围仅限于一元故障或同构网络。为此, 提出一个通用多协议标志交换(GMPLS)网络中的多元故障传播模型。将网络节点功能分为控制层和数据层, 并给出故障传播阈值的计算公式。使用不同的拓扑结构进行模拟实验, 结果均接近于理论值, 验证了该模型的正确性。

关键词: 流行病传播模型; 通用多协议标志交换网络; 多元故障; 节点状态

Multiple Failure Spread Model in GMPLS Network

GUI Bing-xiang, FENG Hong-cai

(Department of Computer and Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

【Abstract】 Existing epidemic spread models are only used in unitary failure and homogeneous network. Aiming this problem, this paper presents a multiple failure spread model in Generalized Multiprotocol Label Switching(GMPLS) network. This model assign node functions into two planes: control plane and data plane. The math formulation for finding the epidemic threshold is given. Extensive simulations is carried out on different network topologies, the results are approach to the theoretical values, which show this model is exact.

【Key words】 epidemic spread model; Generalized Multiprotocol Label Switching(GMPLS) network; multiple failure; node state

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.031

1 概述

网络中的各种故障(统称多元故障)时有发生, 例如硬件故障、自然灾害导致的网络中断、网络事故、配置错误、病毒破坏、软件缺陷等, 可使用流行病传播模型描述多元故障从一个单节点传播到整个网络的动态性。流行病传播网络是描述某种流行疾病在给定的人群和给定的时期如何传播的通用术语。电力供应网络、社会网络、神经网络和计算机网络都有类似的相关特性, 病毒、障碍或故障都可能通过相应的网络进行传播。

目前主要有如下病毒传播模型: (1)易感染-感染(SI)模型; (2)易感染-感染-易感染(SIS)模型; (3)易感染-感染-治愈(SIR)模型。但多数建模方案都集中在单种网络故障(一元故障), 而且多元故障的建模方案没有深入研究故障传播环境。传输网络的主要问题在于故障不仅影响节点而且影响由节点连接的网络, 现有的模型并未考虑这些因素。其他的建模方案也仅局限于无线网络^[1]。基于 SIS 模型, Kephart 和 White 提出了用于分析计算机病毒传播特性的模型(KW 模型)。该模型为网络中病毒传播提供了一个很好的近似解, 但其实用性仅限于同构网络。此外, 网络拓扑结构也是建模时必须考虑的重要因素^[2]。网络拓扑结构有很多参数, 如节点维度、直径、节点数量、维度分布函数、计算机集群特性等^[3]。目前, 应用于无线网络的模型考虑了网络拓扑结构, 但还没有应用于光纤通信网络的模型。

为此, 本文提出一种通用多协议标志交换(Generalized Multiprotocol Label Switching, GMPLS)网络中的多元故障传播模型(SID)。

2 GMPLS 网络的多元故障特性分析

GMPLS 网络结构分层示意图如图 1 所示, 在 GMPLS 网络中, 任何节点的功能都可以分为 2 层: 控制层主要运行网络控制和管理软件; 数据层主要用于转发用户数据。

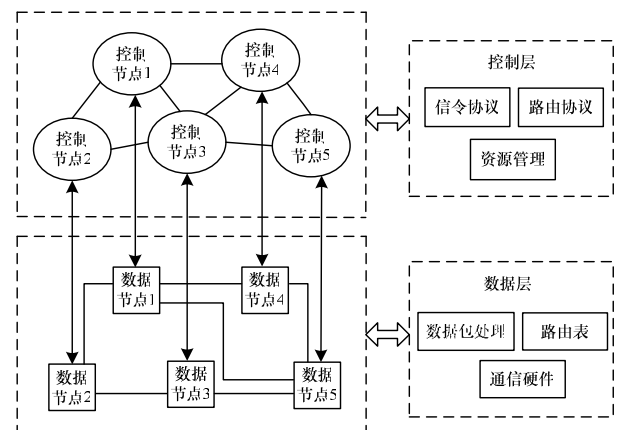


图 1 GMPLS 网络结构分层示意图

控制层的网络控制消息传递和数据层的数据包转发是相互独立的, 具有不同的网络拓扑结构^[4]。因此, 可能有一些网络攻击或故障影响的只是控制层, 路由和信令进程不能正常运行, 即不能建立新的网络连接, 但数据层原先已有的即在故障发生之前的网络配置还能维持正常工作, 并保持已有的网络连接不掉线。

为恢复已发生故障的控制层面之功能而不影响数据层面的已有网络连接, 必须尽快地恢复控制层并且重新使其与数据层状态同步^[5], 这较为困难且费时, 因为重新安装或重启控制层首先必须保证相应的进程和协议重新同步, 同时也需要实现节点同步机制, 如持续转发机制和完美重启机

基金项目: 国家自然科学基金项目(61179032); 湖北省自然科学基金资助项目(2010CDB06603)

作者简介: 桂兵祥(1969—), 男, 副教授、硕士, 主研方向: 网络计算, 云计算; 丰洪才, 教授、博士

收稿日期: 2011-09-01 **E-mail:** 915245276@qq.com

制。也可能控制层发生故障后,数据层也发生故障,导致该节点彻底进入故障状态,完全失效,已建立的网络连接掉线,这类节点完全失效状态在建立模型时也要充分考虑。

3 SIS 模型与 SID 模型比较

首先介绍将 SIS 模型应用于 GMPLS 网络的原理。该模型应用于通信网络与应用于其他领域的主要不同点在于:节点的感染不仅会影响节点本身的运行,而且还会影响节点所连接的网络。

SIS 模型以单节点视角,其中每个节点在某一时刻 t 可能表现为 2 种状态:易感染状态(S)或感染状态(I)。易感染状态表示目前还没被故障感染,但可能被其邻接故障节点所感染且可能的概率为 β ,一个故障节点能被修复的概率为 θ 。在 GMPLS 网络中,某节点处于状态(I)意味着该节点控制层面发生故障,不能建立新的网络连接,而且 $1-\theta$ 值越大,该节点所阻塞的网络连接请求数也越大,其中, θ 值能通过分析节点故障的性质以及修复或更新所花费的时间给定。该修复过程执行起来不会干扰数据层的已有连接。

但该 SIS 模型仍存在一些缺点,如离网络实际情况还有差距,节点状态不完整,且其应用仅限于同构网络等。为了更精确地描述网络节点可能存在的不同状态,将其应用范围扩大到异构网络,本文描述了一个新模型,称为“易感染-感染-完全失效(SID)模型”。

图 2 描述了 SID 模型状态图,其中,上半部分为 SIS 模型,从中可以看出 SID 模型与 SIS 模型的相互关系。

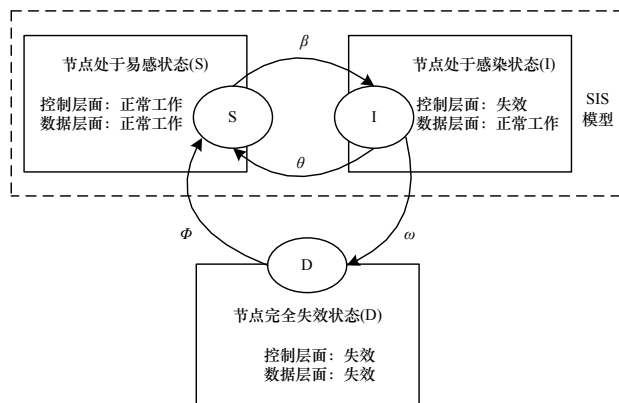


图 2 SID 模型状态图

在 SID 模型中,网络中每个节点可能有 3 种状态:易感染状态(S),感染状态(I)和完全失效状态(D)。新增的完全失效状态 D 考虑了如下事实:受感染的节点功能降级至完全失效,控制层面和数据层面都不能正常工作,其发生的概率设为 ω 。当节点处于该 D 状态时,所有通过该节点的网络连接都会掉线,这就意味着该节点需要全面修复。该 D 状态持续时间与修复所耗时间(MTTR)呈正比。因此,在 SID 模型中,节点可修复性可用 $1/MTTR$ 表示。值得注意的是,该模型中,一个受感染的节点不一定需修复,这与 SIS 模型有显著不同。

该 SID 模型能通过马尔可夫链(Markov Chain)加以描述,时间变量既可以是连续也可以是包含一小段足够时间片段的离散值。计算故障节点基本的繁殖数量,通常用 R_0 表示,定义为整个易感网络中受单个故障节点所感染节点的平均数。于是有:

$$R_0 = \beta \lambda_1 / (\theta + \omega)$$

其中, $\lambda_1 > 0$ 表示网络的非负数最简化对称邻接矩阵最大特征

值,可见网络中故障的扩散依赖于网络的拓扑结构。作为同构网络特点,最大特征值等于网络节点的平均维度; $\beta \lambda_1$ 示网络节点感染性接触的传播率; $1/(\theta + \omega)$ 表示受感染节点的患病生命周期。

因此,可以确定下列网络故障传播阈值:

(1)如果 $R_0 < 1$,即 $\beta/(\theta + \omega) < 1/\lambda_1$,则表示感染性逾期消失,受感染的节点和完全失效的节点数均为 0。

(2)如果 $R_0 > 1$,即 $\beta/(\theta + \omega) > 1/\lambda_1$,则表示流行病爆发,将会感染部分网络节点。

对于同构网络,反映网络故障传播的局部稳定状态的表达式如下:

易感节点比率 $M = 1/R_0$;

受感染节点比率 $N = (1 - 1/R_0)[1/(1 + R_1)]$,其中, $R_1 = \omega/\Phi$;

完全失效节点比 $Q = (1 - 1/R_0)[R_1/(1 + R_1)]$ 。

4 模拟实验与讨论

为验证 SID 模型的有效性,本文在 GMPLS 网络中进行模拟实验,以观测网络故障扩散的演进过程。考虑不同的网络拓扑结构,但尽可能是同构网络,且尽可能选择典型的通信网络。网络的异构性则通过选择不同的网络拓扑结构参数来实现,如网络节点维度、平均直径等。网络连接请求根据指数型泊松分布规律决定,发起和接受节点随机选择。实验所选择的参数如下: $\theta = 0.3$, $\Phi = 0.3$, $\omega = 0.1$, $\beta = 0.167$ 。

模拟实验结果表明,当故障扩散过程达到稳定状态后,受感染节点比率均为 37% 左右,与理论分析值 37.5% 十分接近。同时,易感节点比率和完全失效节点比率的实验数据也接近于理论分析值。

5 结束语

在基于 GMPLS 的光纤通信网络,控制层面和数据层面均可能发生故障。本文研究网络节点对控制层面和数据层面均有影响的多元故障,描述了一个基于 GMPLS 网络故障传播模型(SID 模型),分析现有的流行病传播模型和网络故障传播模型,并对其实际应用于通信网络的缺点进行阐述,同时给出了计算故障传播阈值的数学公式。为评估 SID 模型的性能,在 GMPLS 网络中使用不同的拓扑结构进行了模拟实验,结果表明该模型是有效的。

参考文献

- [1] Tang Shensheng, Mark B. Analysis of Virus Spread in Wireless Sensor Network: An Epidemic Model[C]//Proc. of the 7th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks. Washington D. C., USA: [s. n.], 2009.
- [2] 杨成云,张明清,唐俊.基于信任评估的安全路由方案设计[J].计算机工程,2010,36(7):122-125,128.
- [3] Calle E, Ripoll J, Segovia J, et al. A Multiple Failure Propagation Model in GMPLS-based Networks[J]. IEEE Network, 2010, 24(6): 17-22.
- [4] Li Guangzhi, Yates J, Wang Dongmei, et al. Control Plane Design for Reliable Optical Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 10(4): 1-26.
- [5] Chakrabarti D, Wang Yang, Wang Chenxi, et al. Epidemic Thresholds in Real Networks[J]. ACM Transactions on Information and System Security, 2008, 10(4): 1-26.

编辑 金胡考