

基于元胞自动机模型的域间路由仿真分析

徐赞新 袁 坚 王 钺 冯振明

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘 要 由于域间路由系统的大规模性和拓扑关系的复杂性,使得分析宏观路由行为成为一个难题。提出一种基于元胞自动机模型的域间路由仿真模型,用于分析域间路由系统的宏观行为。研究结果表明,仿真模型在一定程度上可以较好地反映域间路由系统的宏观行为特征。仿真结果发现,在域间路由系统中,小范围短时间的不稳定路由行为经过广泛传播,会导致整个路由系统出现不良系统行为。

关键词 域间路由系统,元胞自动机,宏观行为

中图分类号 TP393.04

文献标识码 A

Analysis for the Inter-domain Routing System Based on Cellular Automaton Model

XU Zan-xin YUAN Jian WANG Yue FENG Zhen-ming

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Analysis of the macroscopic routing behavior of the inter-domain routing system remains a difficult challenge because the inter-domain routing is a very complex system with very large scale. We proposed an inter-domain routing simulation model based on cellular automaton model to study the collective routing behavior of the inter-domain routing system. Our work reveals that the model can succeed in exploring the macroscopic routing behavior of the inter-domain routing system. Simulation results show that some undesired macroscopic routing behavior tend to arise when a small part of the generally well behaved nodes' unstable routing behavior is widespread over the whole network.

Keywords Inter-domain routing system, Cellular automaton, Macroscopic behavior

1 引言

随着因特网技术的不断发展和规模的不断增大,为因特网提供路由功能的域间路由系统也随之成为因特网中最重要的基础设施之一。由于域间路由系统最重要的功能是为互联网用户提供全球路由的可达性和稳定性,因此更好地理解、分析域间路由系统在宏观层次路由的稳定性和可达性行为对于更好地维持因特网的运行显得极为重要。

由于域间路由系统是一个全球性的系统,其规模庞大,拓扑错综复杂,因此针对域间路由系统在全球范围内进行基于实际数据的分析或者基于仿真的分析变得十分困难。目前,相关的研究主要集中在设计新的协议或者改进已有的协议去解决或者减缓域间路由系统运行中出现的各种问题^[1-5],缺乏通过建模与仿真的方法进行域间路由系统宏观路由行为的分析研究,这促发了本文的研究。

目前,元胞自动机模型已经被广泛应用于各种大规模通信与计算机网络的宏观行为仿真分析^[6-11]。受这些研究的启发,本文使用基于元胞自动机模型的域间路由模型仿真分析域间路由系统的宏观行为。本文关注的重点是使用元胞自动机模型构造域间路由系统的仿真模型,仿真分析域间路由系统可能存在的全局路由不稳定或者全局路由不可达的不良宏

观行为。此外,本文提出两个用于量化域间路由宏观行为的指标。仿真结果显示,局部范围的不稳定路由行为会导致整个路由系统的不良宏观行为。

2 域间路由的仿真模型

2.1 RFD和MRAI机制

边界网关协议^[12] (Border Gateway Protocol, BGP)已经成为域间路由系统的默认配置协议。基于该协议,域间路由系统中的相邻自治域系统进行局部路由信息的交换,通过这种局部路由信息的交换使得路由信息得以在全球范围的自治域间传播,从而使互联网用户可以通过域间路由系统获得全球性的路由。

在介绍域间路由系统的仿真模型之前,首先介绍 BGP 中最为重要的两个自适应机制,分别是路由振荡抑制 (Route Flap Damping, RFD) 机制和最小路由广播间隔 (Minimum Route Advertisement Interval, MRAI) 机制。

RFD 机制用于路由信息的接收方,其作用是减少由振荡路由和持续不稳定路由给 BGP 路由器带来的处理负载,并且尽量不增加稳定路由的收敛时间。由 RFC 2439^[13] 的描述可知,在自治域系统中,每个 BGP 路由器都会为相邻自治域节点的每个地址前缀设置和维持一个惩罚值,该惩罚值随着时

到稿日期:2010-07-07 返修日期:2010-09-29 本文受国家自然科学基金(60674048,60603068,60772053,60672142),973 计划(2007CB307100-2007CB307105)资助。

徐赞新(1978—),男,博士生,主要研究方向为无线自组网与复杂系统,E-mail: xzx04@mails. THU. edu. cn;袁 坚 男,副教授;王 钺 男,讲师;冯振明 男,教授,博士生导师。

间呈指数衰减。一旦接收到相邻自治域节点发送的该地址前缀的更新消息,该自治域节点将增加相邻自治域节点的对应地址前缀的惩罚值。当这个惩罚值超过一定门限之后,该自治域节点再次收到邻居节点发送的该地址前缀更新的消息时,将不会再处理这个地址前缀更新消息,而是直接丢弃,并将该相邻自治域系统的对应地址前缀的状态置于抑制状态。只有当惩罚值降到一定门限之后,该自治域节点才会重新接受和处理来自该相邻自治域节点的对应地址前缀的更新消息。

MRAI 机制用于路由信息发送方,其作用是控制路由信息发送方向相邻自治域节点发送路由更新消息的频率。其方法是使用一个计时器控制相邻两次路由更新消息的发送间隔。当一个自治域节点向相邻自治域节点发送一个地址前缀更新消息之后,它需要等 MRAI 计时器为零时,才能再次向相邻自治域节点发送该地址前缀更新消息。在 BGP 协议中,每个 BGP 路由器的 MRAI 值在 22.5s 和 30s 之间随机生成。

2.2 域间路由仿真模型的构造

以下介绍基于元胞自动机模型的域间路由仿真模型的构造。在构造域间路由系统的元胞自动机模型之前,对本文的模型做出如下假设和要求:

(1)该模型必须能够描述一定数量的域间路由系统的连接关系;

(2)该模型中的任意两个自治域节点间至少具有几条路径或者路由可供选择;

(3)该模型必须能够在一定程度上刻画 RFD 和 MRAI 机制的行为特点。

图 1 是一个实际域间路由系统的示意图。由图 1 可知,域间路由系统是一个多层结构的网络系统,每个自治域系统节点具有一个或者多个 BGP 路由器,相邻自治域系统节点通过 BGP 路由器进行连接,其拓扑具有不规则性。

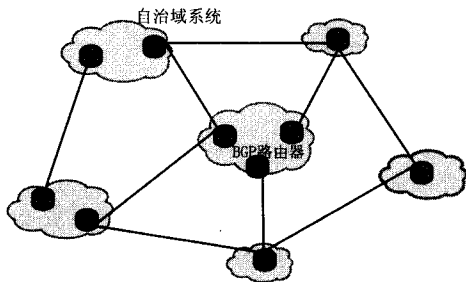


图 1 域间路由系统示意

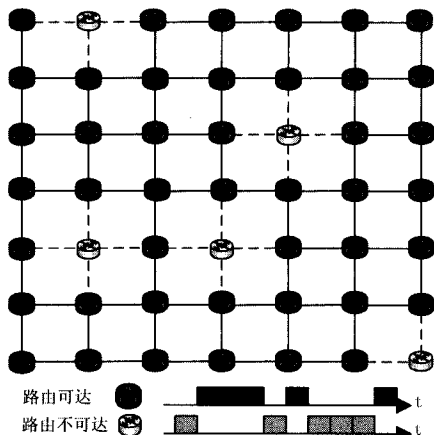


图 2 二维元胞自动机模型(7×7)

本文采取简化处理的方法使基于元胞自动机模型的域间路由仿真模型具有较大的规模,即同质同构化的方法。如图 2 所示,本文将图 1 对应的具有多层网络结构和不规则拓扑的域间路由系统映射成如图 2 所示的二维元胞自动机模型,其中黑色元胞节点代表该路由器处于路由可达状态,即元胞处于“生”状态;灰色元胞节点则代表路由器处于路由不可达状态,即处于“死”状态。

在这种同质同构的方法下,虽然使得域间路由仿真模型中的节点与现有仿真软件(如 NS2, OPNET)提供的节点相比缺少一定的真实性,但这种方法减少了节点中很多的处理细节和计算过程。实际上,对于本文的研究,这些被忽略的处理细节和计算过程对宏观路由行为的分析不会产生太大的影响。这种简化的方法极大地减少了域间路由仿真模型的计算量,从而使我们能够在较大规模以及较长时间尺度上仿真分析域间路由系统的宏观行为特点。

由图 2 可知,在二维元胞自动机模型中,每个元胞节点既代表一个自治域系统节点,又代表一个 BGP 路由器节点,还代表一个网络地址前缀。而且,任意两个元胞节点之间都具有几条路径可供选择。

2.3 元胞节点的行为建模

我们在每一个元胞节点上都实现了 BGP 路由器中的 RFD 和 MRAI 机制,这样可以确保元胞自动机模型的元胞节点可以较好地刻画 BGP 路由器的路由行为特点。在元胞自动机模型中,每一个元胞节点的行为描述如下。在每一个更新时刻,每一个元胞节点既是路由消息接收者,又是路由消息发送者。

(1)路由消息接收者观察邻居节点的路由消息发送状态。如果邻居节点有路由更新消息需要发送,那么增加邻居节点的惩罚值,同时判断该邻居节点是否已经被抑制。如果未被抑制,那么将该路由更新消息缓存到自身的消息队列;如果该邻居节点已经被抑制,那么抛弃接收到的路由更新消息。

(2)路由信息发送者观察自身 MRAI 计时器的状态和消息队列的状态。当计时器为零以及消息队列不为空时,消息队列中的路由消息发送给自己的邻居节点。否则,等待下一更新时刻。

在上述的元胞自动机模型中,每一个元胞节点在任意时刻的状态只与上一时刻的自身状态和邻居状态有关。所以节点的状态可以同步进行更新,使得整个元胞自动机模型的状态在离散时间步长下进行更新。这种离散时间模型的一个优势就是可以很容易观察整个元胞自动机的状态,或者任意时刻、任意范围内的元胞节点的状态。

3 仿真分析

3.1 仿真设置

本文的仿真参数设置如下:

- (1)元胞节点数为 40×40 ;
- (2)状态更新时间间隔为 1s;
- (3)MRAI 计时器的值在 22s 和 30s 之间的整数值中选取;
- (4)仿真总时间为 3600s。

为了仿真域间路由系统中少数 BGP 路由器的偶尔振荡行为和不稳定行为,在 1600 个元胞节点中随机选取 10 个节点,依次让这 10 个节点先变成死状态,然后经过一段时间

隔后变成生状态。我们的目的是模拟实际系统中某些 BGP 路由器节点由于配置等问题引起的偶然死机和重启行为,以及随后引起的局部路由振荡和不稳定行为。每个节点从死状态恢复到生状态的间隔时间在 5s 和 30s 之间的整数值中均匀生成,第一个节点变成死状态的开始时间为仿真时间的第 100s。与实际的域间路由系统相比,在规模为 1600 个节点的自治域系统中,仅仅 10 个节点引起短时间的路由振荡和不稳定,这可认为是出现概率比较小的路由行为。

3.2 仿真结果与分析

本文使用以下两个指标参数来量化域间路由系统的行为,即路由的不可达时间和节点-前缀的不可达数目。

路由的不可达时间定义为在一段仿真时间内系统中所有地址前缀不可达时间的总和。图 3 示出路由不可达时间与节点和前缀的关系。观察图 3 可知,在总仿真时间 3600s 内,大部分节点-前缀对的不可达时间都超过 2000s。我们知道,域间路由系统的一个作用就是为互联网提供一个在宏观层次具有较好可达性的路由。互联网用户可以容忍局部范围、短时间内的路由不可达,但是对于这种长时间的、波及整个系统的路由不可达行为是无法容忍的。

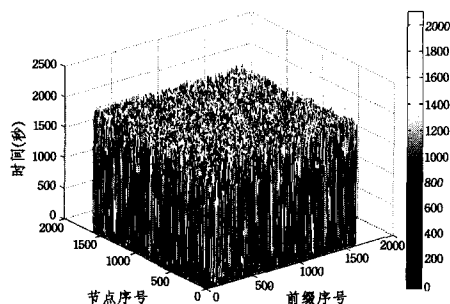


图 3 路由的不可达时间

进一步通过观察节点-前缀的不可达数,也可以得到类似的结果。节点-前缀的不可达数定义为系统中所有节点-前缀两两不可达数目的总数。如图 4 所示,节点-前缀不可达数目从约 100s 开始以最小值快速上升,达到最大值为 80 万左右,约为节点-前缀总数 2556801 的三分之一。节点-前缀不可达数的最大值约 2100s 时开始回落到最小值。由图 4 还可以看出,大约有 80 万个节点-前缀的不可达时间超过 2000s,这也从另外一个侧面反映了域间路由系统在宏观层次路由不可达行为的严重性。

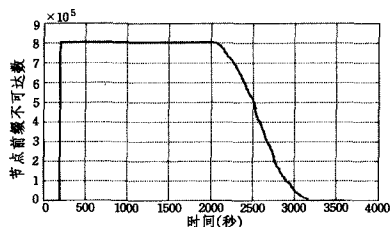


图 4 节点-前缀不可达数目

结合图 3 和图 4 可知,仅仅由于局部范围少数节点在短时间内的路由不稳定行为,使得经过域间路由系统的局部交互行为传播到整个网络,从而引起整个系统路由的不可达行

为。这一方面说明,对于域间路由系统这种大规模的复杂系统而言,有时候系统中微小的变化足以引起整个系统的连锁反应,导致灾难性的结果。另一方面也说明本文提出的元胞自动机模型在一定程度上能够刻画域间路由系统在宏观层次的路由行为与特征。

结束语 本文提出了一种基于元胞自动机模型的域间路由仿真模型,用于分析域间路由系统在宏观层次的路由行为。研究结果表明,本文模型在一定程度上能够刻画域间路由系统在宏观层次的路由行为与特征。仿真结果显示,小范围内节点的短时间路由振荡行为能够导致整个系统在宏观层次上出现不良行为。

参考文献

- [1] Shen W, Trajkovic L J. BGP route flap damping algorithms [C]// Proc. SPECTS 2005, Philadelphia, PA, July 2005:488-495
- [2] Mao Z M, Govindan R, Varghese G, et al. Route Flap Damping Exacerbates Internet Routing Convergence [C]// Proc. of ACM SIGCOMM, Pittsburg, PA, August 2002:221-233
- [3] Wang L, Zhao X, Pei D, et al. Observation and analysis of BGP behavior under stress [C]// Proc. of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement Workshop, Marseille, France, 2002:183-195
- [4] Varadhan K, Govindan R, Estrin D. Persistent Route Oscillations in Inter-domain Routing [J]. Computer Networks, 2000, 32(1):1-16
- [5] Cowie J, Ogielski A, Premore B, et al. Global Routing Instabilities During Code Red II and Nimda Worm Propagation [J]. September 2001
- [6] Cunha R O, Silva A P, Loureiro A A F, et al. Simulating Large Wireless Sensor Networks Using Cellular Automata [C] // Proc. of the 38th Annual Symposium on Simulation. April 2005: 323-330
- [7] Mamei M, Roli A, Zambonelli F. Emergence and control of macro-spatial structures in perturbed cellular automata, and implications for pervasive computing systems [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, 2005, 35(3):337-348
- [8] Subrata R, Zomaya A Y. Evolving Cellular Automata for Location Management in Mobile Computing Networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2003, 14(1): 13-26
- [9] Allegretti D G, Kenyon G T, Friedhowsky W C. Cellular Automata for Distributed Sensor Networks [J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2008, 22(2)
- [10] 张文铸, 刘佳, 张林, 等. 无线传感器网络的非分簇拓扑控制方法研究 [J]. 计算机科学, 2010, 37(2):44-47
- [11] 张文铸, 袁坚, 俞哲, 等. 基于元胞自动机的无线传感网络整体行为研究 [J]. 物理学报, 2008(11):6896-6900
- [12] Rekhter Y, Li T. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) [S]. IETF, RFC 1771, Section 9, March 1995:33-46
- [13] Villamizar C, Chandra R, Govindan R. BGP Route Flap Damping [S]. RFC 2439, 1999