

基于决策网络模型的通信网阻塞控制方法

The Novel Approach of Congestion Control of Communication Network Based on Decision Network Model

王宽全¹ 程代杰²

(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系 哈尔滨150001)¹(重庆大学计算机研究所 重庆400044)²

Abstract In this paper the decision network model of congestion control of communication network is presented and simulation of this model is conducted by software. At last this model is applied in management of telecommunication network and the decision of congestion control strategies can be effectively obtained.

Keywords Communication network, Congestion, Belief network, Decision network

1 引言

网络由于信息流特性的可变性和网络结点的特性,使得信息在通过结点时产生滞留现象,从而造成信息的时延增大和信息丢失率上升。这种由于网络结点吞吐率下降而引起的信息聚集于一些结点的缓冲区中,网络时延极大增加的现象即为网络的阻塞现象。

网络阻塞会引起网络通信能力的下降。如果能对这种现象加以有效的控制,阻塞对网络所产生的不利影响也将会得到控制,否则网络局部的阻塞,可能会引起整个网络瘫痪。

目前,对包交换网络的阻塞控制(主要是流量控制)已进行了广泛深入的研究,形成了许多常用的控制方法^[1~2],例如:缓存预分配、包丢弃、令牌允许方法、阻塞通知包和流控技术等,还有人将神经网络技术应用于网络的阻塞控制中,实现阻塞的自适应控制^[3]。然而,对电话这种电路交换网络,虽然目前已建立了各级网管系统,可以收集交换机、传输电路群的各种信息,实现了较为有效的管理,但对阻塞的控制仍然处于起步阶段。通常采取的办法是对网管数据进行分析后,对发生阻塞的交换机或传输电路采用人工干预(在操作平台上发指令)的办法解决问题。我们知道,目前电话网的主要控制手段通常有业务量控制,包括号码闭塞、间歇呼叫控制、限制直达路由、电路定向化、电路拒绝占用/示忙/闭塞;路由选择控制,包括取消迂回路由选择、跳越路由、临时迂回路由及特殊录音通知等多种控制方法^[4]。

笔者曾提出通信网阻塞的信度网模型^[6,7],使用信度网推理方法计算出各结点出现阻塞的概率变化趋

势,可以准确地预测通信网中阻塞的到来。那么当我们检测或预测出某结点即将发生阻塞的时候,应该如何从众多的控制方法中选择最恰当的控制方法呢?对于我国电话网来说,网管系统可以使用图像、声音等多种方式提示管理人员网络系统已经发生阻塞,这时需要网络维护技术人员分析判断网络的阻塞情况,并作出相应的控制决策。显然,这对操作人员的技术素质有较高的要求。根据决策理论,我们知道,在一些比较复杂的情况下,特别是含有许多不确定因素的时候,人类的判断往往会出现失误^[5]。如果能建立一个基于知识的系统,将人类专家知识与决策理论相结合,完成自动决策,应该是一种更加有效的方法。首先,自动决策提高了控制的时效性,它能在检测(或预测)出阻塞时,在很短的时间内(比如说5秒钟之内)完成决策并发出控制指令,及时实现阻塞的控制。而目前采用的控制方法通常是在操作人员看见或听见网管系统的报警后,打印分析阻塞数据,最后选择一种方法实现控制。这通常需要半小时甚至数小时的时间,显然对控制阻塞是不利的。其次,自动决策本身包含专家知识,降低了对操作人员的要求,大大节约了管理成本。

信度网是基于概率理论的最成功的知识表示和推理模式,是由领域变量之间的条件依赖关系以及定义这些依赖关系的概率分布,通过有向图结构来定义的。因此,信度网提供了一种知识表达的有效方式和灵活的推理方法,而且这种方法根置于十分完善的概率论这一数学分支,能够预测未观察变量的值,也可解释已观察变量的值^[9,10]。信度网还能容易地扩展成一个完整的决策理论形式化表示方法,被称为决策网络或 Influence Diagrams,能够提供标准化的决策,即一种形

王宽全 教授;程代杰 教授,博导。

式化的合理决策。因此,本文在通信网阻塞的信度网模型基础上,将决策理论及决策网络模型引入到阻塞控制的决策中来,提出基于决策网络模型的通信网阻塞控制方法,并将其应用于电信网络管理中。相信这种新的方法对解决网络阻塞,提高网络效益会有较大的好处。

2 决策理论及决策网络

决策理论是研究在复杂情况下如何进行合理决策的理论,它的起源可以追溯到十八世纪。然而直到二十世纪50年代,它作为一个标准化工具广泛应用于经济、财政及管理科学,到了1984年,决策网络(Decision Network or Influence Diagram)由Howard等人引入^[8],并与人工智能技术相结合,使其得到了包括规划、问题求解、搜索、诊断及决策等更加广泛的应用。

2.1 可用性(Utility)基本理论^[6]

一般以彩票(Lottery)的术语来描述可用性的理论。设彩票 L 有两种可能的输出状态 A 和 B ,其中 A 状态的概率为 p ,那么 B 状态的概率为 $1-p$,记为:

$$L=[p, A; 1-p, B]$$

下列三式表示彩票状态间的优选关系(Preference), $A>B$ 表示 A 优先于 B ; $A\sim B$ 表示 A 与 B 的优先级没有差别; $A\geq B$ 表示 A 优先于 B 或 A 与 B 的优先级没有差别,可用性理论的六大公理可表示为:

顺序性: $(A>B) \vee (B>A) \vee (A\sim B)$

传递性: $(A>B) \wedge (B>C) \Rightarrow (A>C)$

连续性: $A>B>C \Rightarrow \exists p[p, A; 1-p, C] \sim B$

替换性: $A\sim B \Rightarrow [p, A; 1-p, C] \sim [p, B; 1-p, C]$

单调性: $A>B \Rightarrow (p \geq q \Rightarrow [p, A; 1-p, B] \geq [q, A; 1-q, B])$

可分性:

$$[p, A; 1-p, [q, B; 1-q, C]] \sim [p, A; (1-p)q, B; (1-p)(1-q), C]$$

那么,如果一个决策代理遵从以上可用性理论的六条公理,在决策输出状态上一定存在一个实值函数 U :

$$U(A)>U(B) \Leftrightarrow A>B$$

$$U(A)=U(B) \Leftrightarrow A\sim B$$

一注彩票的可用性即为该彩票所有输出状态的概率乘以该输出状态的可用性之和:

$$U([p_1, S_1; \dots; p_n, S_n]) = \sum_{i=1}^n p_i U(S_i)$$

决策即选择一种具有最大可用性的彩票,这就是最大期望可用性原则 MEU(Maximum Expected Utility principle)。

2.2 决策网络

决策网络是在信度网基础上发展起来的在复杂环

境中(包含不确定因素)如何作出合理决策的一个非常有效的工具。信度网通过网络结构提供一个简单而强大的表示知识的方法,其中结点是一个随机变量,表示了一个命题,弧表示了相连两个命题的依赖关系。用概率表示不同命题的可信度,命题之间的依赖关系用条件概率表示。

决策网络(Decision network or Influence diagram)是对信度网的一种扩充,用于处理决策问题,在信度网基础上增加了用于决策的结点(通常用矩形框表示)及代表可用性(Utility)的结点(通常用菱形表示)。因此,一个决策网络有三种结点,即表示随机变量的结点(通常用椭圆表示),表示决策的结点和表示可用性的结点。

3 通信网阻塞控制的决策网络模型

从上述介绍的决策理论和决策网络可知,决策网络通常是在信度网基础上,通过增加决策结点和可用性结点而得到,为了引出通信网阻塞控制的决策网络模型,我们先简述通信网阻塞的信度网模型。

3.1 通信网阻塞的信度网模型^[6,7]

3.1.1 通信网结点阻塞模型 一个典型的通信网拓扑结构如图1所示。

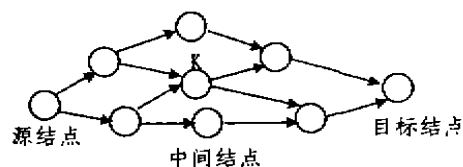


图1 典型通信网拓扑结构

任取通信网中的一结点 k ,分析产生阻塞的各种原因。在文[6]中,随机变量为二值逻辑,取0或1,为了更加细致地刻画阻塞的程度,本文对随机变量的取值使用三值逻辑,定义如下:

定义1 通信网中结点 k 的阻塞态 $B(k)$ 是一个随机变量,取值0、1或2,分别表示结点 k 处于非阻塞状态、轻微阻塞状态或严重阻塞状态。

下面我们分析结点 k 产生阻塞的直接原因,不失一般性,设结点 k 有 n 条输入链路,有 m 条输出链路,如图2所示。

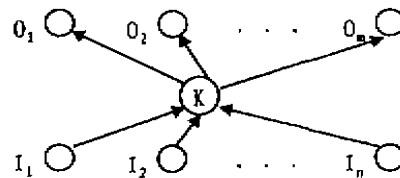


图2 通信网结点 k 的阻塞模型

对于结点 k ,有以下三个方面的直接原因可令其阻塞:

- 结点 k 自身的故障引起的阻塞。当结点 k 内部发生故障,它不能及时将输入信息传到输出端,自然会引起结点 k 的阻塞。

- 输入流量超过结点 k 的负荷承载能力。对任一通信结点,在设计时都给予了一个负荷承载上限。一般情况下,输入到该结点的流量总和不超过这一承载上限。但有时输入结点出现某些特殊情况,产生出大量的突发流量,致使输入流量之和超过结点 k 的承载上限而引起结点 k 性能大量下降,从而造成阻塞。

- 输出链路受阻引起结点 k 的阻塞。由于前方某一个或多个结点阻塞,导致结点 k 的一条或多条输出链路受阻,大量的信息积压于结点 k 的缓冲区内,从而造成结点 k 的阻塞,这就是所谓的阻塞传染问题。

3.1.2 信度网结点 通过上面的分析,我们知道通信网中结点的阻塞有三方面的直接原因,其中由输入流量引起的阻塞可以不区分来自哪一条链路,因此用输入流量的总和来表示这一因素。

定义2 $F(k)$ 为一随机变量,表示通信网结点 k 的故障, $F(k)$ 取值0或1,分别表示结点 k 无故障或有故障。

定义3 $BI(k)$ 为一随机变量,表示通信网结点 k 的输入流量总和超过该结点承载能力, $BI(k)$ 取值0、1或2,分别表示结点 k 的输入流量总和未超过结点承载能力、已经超过结点承载能力或严重超过结点承载能力。

定义4 $BO(k, i)$ 为一随机变量,表示通信网结点 k 的第 i 条输出链路是否阻塞, $BO(k, i)$ 取值0或1,分别表示结点 k 的第 i 条输出链路未阻塞或已阻塞。

那么,通信网结点 k 的阻塞状态 $B(k)$ 作为信度网的一个结点,与其直接原因 $F(k)$, $BI(k)$ 和 $BO(k, i)$ 的关系如图3所示。

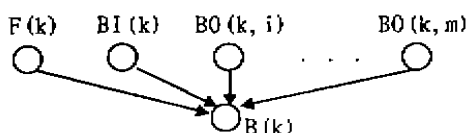


图3 通信网结点 k 对应的信度网结点

关于将一个通信网转换为其信度网阻塞模型的算法,以及各信度网结点的概率分析、推理算法等见文[6,7]。

3.2 通信网阻塞控制的决策网络模型

定义5 Control 为控制决策变量,它取值为集合 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$,表示它有 n 个控制方法可以选择。

定义6 Criteria 为评价变量,表示对决策变量的

每一个取值的评价,根据评价变量的性质可以分为连续型和离散型两种。对连续型评价变量,将其取值归一化为 $[0, 100]$ 这个闭区间,分别表示对某一决策取值的最低评价与最高评价;对离散型评价变量,其取值可以映射到 $[0, 100]$ 区间上的若干离散点。

定义7 Utility 为可用性变量,表示评价变量 Criteria 对决策变量 Control 的每一个取值的评价映射关系。

定义8 Congestion 为表示网络阻塞程度的随机变量,其取值为 $\{None, Low, High\}$,分别表示通信网的阻塞状态为“无阻塞”、“轻度阻塞”和“严重阻塞”。

定义9 Cause 为表示通信网阻塞原因的随机变量,其取值为 $\{Input, Output, Fault\}$,分别表示输入流量引起的阻塞,输出受阻引起的阻塞以及故障引起的阻塞。

定义10 阻塞控制决策网络模型是一个由1个代表控制决策变量 Control 的决策结点, m 个代表评价变量 Criteria 的评价结点集合: $\{Criteria_1, Criteria_2, \dots, Criteria_m\}$, 1个代表可用性变量 Utility 的结点, 1个表示网络阻塞程度变量 Congestion 的结点,以及1个表示通信网阻塞原因变量 Cause 的结点所组成的有向无环图(DAG),其结构如图4所示。

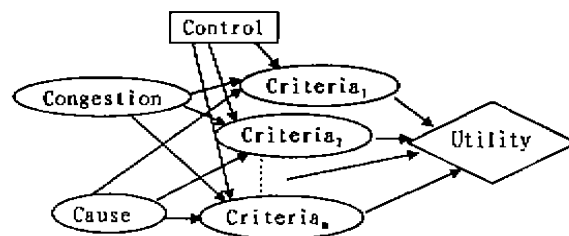


图4 阻塞控制决策网络模型

4 决策模型在电信网阻塞控制中的应用

随着电信网络的迅猛发展,电信网的管理日益重要,国际电联(ITU-T)提出了电信管理网(TMN)的概念和一系列标准,得到了世界各国的广泛认同^[1]。NOMA 系统是我国原邮电部软件技术中心根据 TMN 的原则开发的用于本地电信网集中监控与维护的网管系统。它使用 HP 小型机作服务器,运行 Sybase 数据库。在 NOMA 系统的数据库中存有所覆盖的本地电信网的大量数据,自然也包括各通信结点每天24小时的流量数据,阻塞数据,故障数据,我们利用这些数据建立起电信网阻塞的信度网模型,可以有效地检测和预测网络阻塞的发生^[6]。

这里使用本文提出的决策模型来选择控制策略,为了简化问题和便于计算机仿真,我们对决策变量、评

价变量、阻塞程度变量及阻塞原因变量的取值作一些限制,如表1所示。

表1 决策网络中各变量取值

变量类型	变量名称	变量取值	含义
决策变量	Control	ReRoute	重选路由
		RemoveFault	故障修复
		FlowControl	流量控制
评价变量	Effective (控制有效性)	NonEffe	无效
		MildEffe	基本有效
		HighEffe	非常有效
	Costed (控制成本)	LowCost	成本低
		HighCost	成本高
阻塞程度变量	Congestion	NonCongested	无阻塞
		MildCongested	轻度阻塞
		HeavyCongested	严重阻塞
阻塞原因变量	Cause	InputTraffic	输入流量的引起阻塞
		Fault	故障引起的阻塞
		OutputBlock	输出受阻引起的阻塞

使用微软提供的信度网工具(Microsoft Belief Networks),由表1中的变量所组成的决策网络如图5所示。

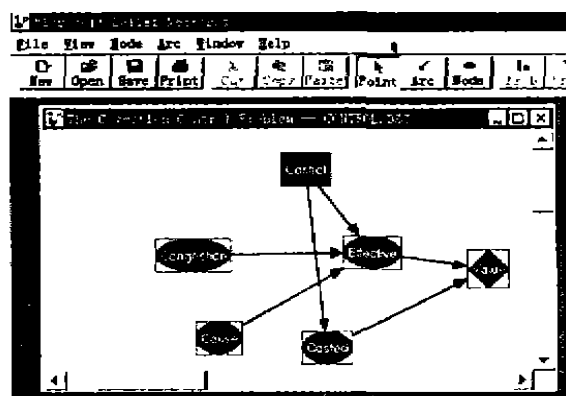


图5 利用微软信度网工具建立的电信网阻塞控制决策网络模型

决策网络中节点的条件概率分配以及可用性映射关系,一是根据专家确定,二是可根据网管历史数据挖掘获得。对于 Congestion 和 Cause 两结点,如果将此处的决策网络与文[6,7]中信度网模型相连接,可以直接从信度网推理结果获得。这里,为了讨论决策问题,我们可以根据专家经验指定一先验概率。

当我们指定各结点的概率、条件概率以及可用性取值后,决策网络运行结果如图6(略)所示。

图6是当 Cause 取值为 InputTraffic,而 Congestion 取值为 MildCongested 时,决策网络的运行结果。

根据决策理论的最大期望可用性原则,我们应采用的控制策略显然是流量控制,这一决策结论也十分合理。对于其他输入情况,决策网络运行结果同样是合理的。

我们在进行推理时,不必知道每个随机变量的取值,只需部分随机变量的取值(即使不知所有随机变量的取值,根据先验概率也可进行推理),即可获得推理结果,可见决策网络与信度网一样,在表达缺省知识方面具有很强的能力。

结束语 信度网不但具有很好的语法和语意,而且善于表达现实世界中的不确定知识,在专家系统及其它基于知识的系统中应用甚广。由于通信网络的复杂性,且存在多种不确定因素,用传统的数学建模的方法来解决阻塞及阻塞传染问题,不能取得满意的结果。本文在通信网阻塞的信度网模型基础上,通过增加决策结点和可用性结点,提出了基于决策网络模型的通信网阻塞控制方法,较好地解决了通信网阻塞的诊断和预测之后,如何选择有效的控制策略问题。

参考文献

- 1 Hatrud K Ab. Kalman Prediction Method For Congestion Avoidance in ISDN Frame Relaying Network. [A thesis for PhD]. University of Essex, 1992. 44~60
- 2 McDysan D E, Spohn D L. ATM Theory and Application, McGraw-Hill, Inc., 1994. 387~411
- 3 Saadawi T N, et al. Fundamentals of Telecommunication Networks. John Wiley & Sons, Inc., 1994. 205~227
- 4 Yuhas B. Neural Networks in Telecommunications. Kluwer Academic Publishers, 1998. 109~125
- 5 胡谷雨. 现代通信网和计算机网管理. 电子工业出版社, 1996. 8~12
- 6 Wang Kuanquan, Cheng Daijie. The Bayesian Network Model for Congestion Control of Communication Network, International Symposium on Intelligent Data Engineering and Learning, Hong Kong, 1998. 14~16
- 7 王宽全,程代杰. 用于通信网阻塞控制的信度网模型. 计算机科学, 1999, 26(1)
- 8 Russell S J, Norvig P. Artificial Intelligence. Prentice-Hall International, 1995
- 9 Cooper G F. NESTOR: A computer-based medical diagnostic aid that integrates causal and probabilistic knowledge. [PhD dissertation]. Stanford Univ., Palo Alto, Calif., 1984
- 10 Henrion M. Propagating uncertainty in Bayesian networks by probabilistic logic sampling. Uncertainty in Artificial Intelligence, North Holland, Amsterdam, 1988. 149~164
- 11 王宽全,程代杰. TMN 技术及其进展. 数字通信, 1998(3)