

基于定性动态概率网络的网络拥塞控制

钱民¹ 唐克生²

(昆明冶金高等专科学校计算机信息学院 昆明 650033)¹

(昆明冶金高等专科学校物流学院 昆明 650033)²

摘要 网络拥塞已经成为了人们普遍关注的问题。目前,针对网络拥塞控制的研究,提出了一些具体的方法和建议,但其都不能很好地解决网络拥塞。定性动态概率网络(QDPNs)是目前进行动态地推理不确定知识领域最有效的模型之一。提出了一种基于定性动态概率网络的网络拥塞控制,该方法能够有效地对网络拥塞进行预测,在预测的基础上给出了相应的拥塞控制策略。

关键词 定性动态概率网络,网络拥塞控制

Network Congestion Control Based on Qualitative Dynamic Probabilistic Networks

QIAN Min¹ TANG Ke-sheng²

(School of Computer Information, Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)¹

(School of Logistics, Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)²

Abstract Network congestion has become a widespread concern. At present, research based on network congestion control has present some specific methods and suggestions, but they are not able to solve the network congestion well. Qualitative Dynamic Probabilistic Networks(QDPNs) are one of the most efficient models in the uncertain knowledge and dynamically reasoning field. This paper presented a network congestion control method based on QDPNs. This method can effectively predict network congestion, and then we can get the corresponding congestion control strategy according to the prediction before.

Keywords Qualitative dynamic probabilistic networks, Network congestion control

随着应用需求的日渐丰富和技术的不断发展,对于网络拥塞控制的研究,人们开始将重点转向了网络中的路由器等中间节点设备,以及对于整个网络链路的研究^[1]。其中一个最基本和最重要的要求就是防止网络出现拥塞崩溃,使网络运行在轻度拥塞的最佳状态,同时保证一定的公平性。从用户需求的角度来说,网络必须为所有用户的请求提供服务,然而用户的需求在传输起始时间、需求速率、持续时间上变化很大,具有突发性和随机性。从网络提供资源的角度来说,任何网络物理资源都有固定的上限能力。网络中的拥塞来源于网络资源和网络流量分布的不均衡性,且不会随着网络处理能力的提高而消除^[2]。

根据网络规模和重要程度,我们通常将网络分为主干网和非主干网。对于网络拥塞控制的研究,我们主要将注意力集中于主干网。定性动态概率网络能很好地表示动态情况下各变量之间的不确定性、相关性与进行不确定性推理^[4]。根据网络拥塞所固有的突发性和随机性,本文采用了定性动态概率网络来对主干网的网络拥塞进行模拟建模,它能够有效地对网络拥塞进行预测,并在预测的基础上给出了相应的拥塞控制策略,具有一定的研究意义。

1 定性动态概率网络

为了简便起见,我们不妨假设所有节点变量的值都是二

值域。一个这样的节点 A 有两个值: true 和 false, 并且 $\text{true} > \text{false}$; 用 a 表示 $A = \text{true}$, $\bar{a}$ 表示 $A = \text{false}$, 即有 $a > \bar{a}$ 。

定性动态概率网络就是对动态 Bayesian 网络的定性抽象, 将动态 Bayesian 网络的定量的概率参数部分进行抽象以得到相应的定性概率关系部分, 而图形框架方面保持不变。其中的定性概率关系有: 定性影响、加协作和乘协作, 定性影响是其中最重要的一种定性概率关系^[4]。

定性动态概率网络中的定性影响可以分为两类, 一类与定性概率网络中的一致, 指的是位于同一时间片上的不同节点之间的普通边所表达的定性影响; 另一类是连接不同时间片之间的关键边所表达的定性影响。为了区别, 将前者称为普通影响, 后者称为关键影响^[4]。以关键影响为例, 下面给出定义。

定义 1^[3,4] 设 $QDPN = (V(G); A(G))$, U 是变量集, P 是 U 上的联合概率分布, 变量 $A, B \in V(G)$ 是随时间演变的随机变量, $A[t]$ 是变量 A 演化到时刻 t 的随机变量, 变量 A, B 取值 true 或者 false, 有值 $a[t] > \bar{a}[t], b[t] > \bar{b}[t]$, 关键边 $A[t] \rightarrow B[t+1] \in A(G)$, 除了 A 之外的 B 的父节点变量集 $X = \pi_G(B) \setminus \{A\}$ 。那么节点 A 对节点 B 的正关键影响, 记为 $S_{t,t+1}^+(A, B)$, 当且仅当对变量集 X 的任意一个具体值 x , 有 $P(b[t+1] | a[t], x) \geq P(b[t+1] | \bar{a}[t], x)$

上述不等式表示了节点 A 对 B 沿着关键边 $A[t] \rightarrow B[t+1]$ 施加了一个正的影响, 不论变量集 X 的概率分布如何。

根据转移概率时不变假设, 定性动态概率网络中的特定的两个节点之间的定性影响(包括普通和关键影响)在时间片的展开过程中也是不变的。

类似地, 节点 $A[t]$ 对 $B[t+1]$ 的负关键影响、零关键影响分别记为 $S_{n,t+1}^-(A, B)$ 、 $S_{n,t+1}^0(A, B)$, 相应的不等式中的符号“ $\geq$ ”分别改为“ $\leq$ ”、“ $=$ ”。零影响表明这两个节点之间的关系是条件独立的。如果节点 $A[t]$ 对 $B[t+1]$ 的影响是模糊的, 也就是说, 这种影响是非单调的或未知的, 记为 $S_{n,t+1}^?(A, B)$ 。

定性动态概率网络中的定性影响(包括普通影响和关键影响)同样适用于定性概率网络中的一组规则: 对称性、传递性和复合性^[4,5]。

加协作可以类比定性概率网络中的加协作来给出定义。它是对网络图形中的 3 个节点之间的相互作用的影响进行建模, 这 3 个节点构成“V”结构。一个加协作表明了两个节点对其“V”节点造成的影响。例如, 一个正的加协作表示节点 A, B 对他们的共同孩子节点 C 的联合影响大于他们单独对节点 C 的影响的和。

乘协作也可以类比定性概率网络的乘协作来给出定义。一个乘协作表达了一个节点如何影响另一个节点的值的概率, 在知道了他们共同孩子节点的值的情况下。

为了简化推理过程且在不影响推理结果的情况下, 我们可以在推理过程中忽略加协作和乘协作所造成的影响^[4,6,7]。

另外, 在定性动态概率网络中同一时刻的普通定性概率影响和定性概率网络中的定性影响规则完全一致。

定性动态概率网络的推理, 其基本思想仍然是基于 M. J. Druzdzel 和 M. Henrion 所提出的符号传播算法^[8], 只是需要根据推理过程中的精度要求, 将定性动态概率网络予以一定程度的展开。

下面给出改进过的符号传播算法的伪码表达^[9], 其中, 起、止时间片的序号为 i, j 。

```

procedure PropagateObservation(QDPN, O, sign, Observed);
for (k=i; k<j; k++)
{
for 每一个观测序列内的节点  $V_i[k] \in V(G)$ 
do  $sign[V_i[k]] \leftarrow '0'$ ;
PropagateSign(? , O, O, sign);
O ← 关键边所指向的关键节点(位于下一时间片)的推理符号。
}

procedure PropagateSign(trail, from, to, messagesign);
 $sign[to] \leftarrow sign[to] \oplus messagesign$ ;
 $trail \leftarrow trail \cup \{to\}$ ;
for 节点 to 的每一个活动邻居节点  $V_i[k] \in V(G)$ 
do  $linksign \leftarrow$  节点 to 和  $V_i[k]$  之间的影响的符号;
 $messagesign \leftarrow sign[to] \otimes linksign$ ;
if  $V_i[k] \notin trail$  and  $sign[V_i[k]] \neq sign[V_i[k]] \oplus messagesign$ 
then PropagateSign(trail, to,  $V_i[k]$ , messagesign).

```

2 网络拥塞控制

随着网络应用的规模扩大和技术的不断发展, 网络拥塞控制研究的重心开始转向了网络中的路由器等中间节点设

备, 期望通过增强它们的功能来实现主机端无法达到的技术目标。就拥塞控制而言, 网络中间节点有可能更及时, 甚至提前准确了解网络的拥塞状态, 并依此实施有效的资源管理策略, 使网络能避免拥塞, 或尽早从严重的拥塞状态中恢复过来^[1]。

网络中的拥塞来源于网络资源和网络流量分布的不均衡性。拥塞不可能随着网络节点处理能力的提高而消除。网络中的信息发送具有很强的随机性和突发性。网络中的各个节点(路由器)的拥塞是互相联系、互相影响的, 存在着一定的因果关系, 那么采用定量和定性相结合的方法来加以研究, 以便捕捉到存在其中的因果关系, 从而采取相应的举措来进行拥塞控制是可行的。我们将注意力集中于主干网络, 对主干网络中各个中间节点路由器的拥塞情况进行统计, 然后利用定性动态概率网络来加以模拟建模。对于网络中的每一个具体的分组, 我们都不能让它它在传输过程中形成一个环路。但是经过使用定性动态概率网络建模之后, 各个节点之间的因果关系却极有可能存在一个反馈环路, 用来表示各个节点在相邻的时间片上的因果关系, 并非表示网络中一个具体分组的流向。接着在对模型进行一系列简单的定性推理之后, 就可以得到各个节点路由器之间的相互影响的因果关系图, 找到关键原因节点, 我们就可以对网络拥塞控制做到快速、准确、有效。

例 根据对某个主干网络的长期、大量的统计, 得出了该网络中的几个主要节点(路由器)拥塞情况的统计数据。根据给出的统计数据, 通过学习建模得到如图 1 所示的动态概率网络, 一个节点代表一个路由, 比如节点 A 表示其中的一个节点路由的拥塞状态, a 表示该节点拥塞, $\bar{a}$ 表示该节点不拥塞, 其中存在一个反馈环 $A[t] \rightarrow B[t] \rightarrow C[t] \rightarrow D[t] \rightarrow E[t] \rightarrow A[t+1]$ 。图 2 给出了图 1 中虚线部分的节点的条件概率参数。为了简便起见, 仅对图 1 中的虚线部分进行推理。根据图 2 给出的条件概率参数, 通过简单的比较, 可以得到相应的定性影响符号, 并且忽略了加协作和乘协作的影响, 如图 3 所示。

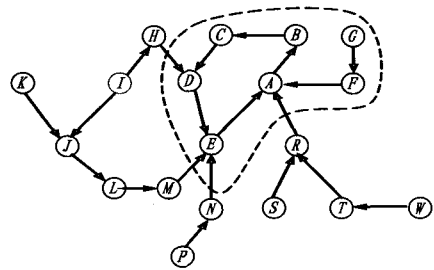


图 1 某主干网的 QDPN 模型

$P(a[t]/e[t-1], f[t])=0.90$	$P(a[t]/e[t-1], f[t])=0.60$
$P(a[t]/e[t-1], f[t])=0.80$	$P(a[t]/e[t-1], f[t])=0.20$
$P(b[t]/a[t])=0.85$	$P(b[t]/a[t])=0.20$
$P(c[t]/b[t])=0.80$	$P(c[t]/b[t])=0.10$
$P(d[t]/c[t])=0.90$	$P(d[t]/c[t])=0.15$
$P(e[t]/d[t])=0.50$	$P(e[t]/d[t])=0.20$
$P(f[t]/g[t])=0.70$	$P(f[t]/g[t])=0.30$
$P(g[t])=0.50$	

图 2 图 1 中的部分条件概率参数

(下转第 311 页)

结束语 针对可变速率传输的多业务无线数据网络,本文提出了一种基于效用函数的资源管理策略。该策略综合考虑了吞吐量和传输速率稳定性之间的平衡,可以通过牺牲小部分吞吐量,达到抑制传输速率波动的目的。与传统的资源管理策略相比,特别适用于高速率的无线网络中对传输速率波动较为敏感的数据业务。仿真结果显示,该策略能够有效地抑制无线数据网络中终端的传输速率波动,提供了较高的速率稳定性,从而提高了网络的利用效率。该策略与功率控制相结合后能进一步提高系统性能,但是具有一定的复杂度。今后的研究内容主要有两点,一是改进算法、提高收敛速度,二是将其扩展至多小区系统并与准入控制等其他资源管理技术相结合,进一步提高无线资源管理的效率。

参考文献

[1] Jiang Zhi-mei, Ge Ye, Li Ye. Max-utility wireless resource man-

agement for best-effort[J]. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2005, 4(1): 100

[2] Knopp R, Humblet P A. Information capacity and power control in single-cell multiuser communications[C]//IEEE International Conference on Communications, Seattle, 1995, 1: 331

[3] Viswanathan H, Venkatesan S, Huang H. Downlink capacity evaluation of cellular networks with known-interference cancellation[J]. IEEE J. Sel. Areas Commun., 2003, 21(5): 802

[4] 李学勇, 黄佳玮, 王建新. 保证无线上行链路 TCP 公平的调度算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(24): 136

[5] Qiu Xiao-xin, Chawla K. On the performance of adaptive modulation in cellular systems[J]. IEEE Trans. On Commun, 1999, 47(6): 884-895

[6] Stolyar A L. On the asymptotic optimality of the gradient scheduling algorithm for multiuser throughput allocation[J]. Operation Research, 2005, 53(1): 12-25

(上接第 287 页)

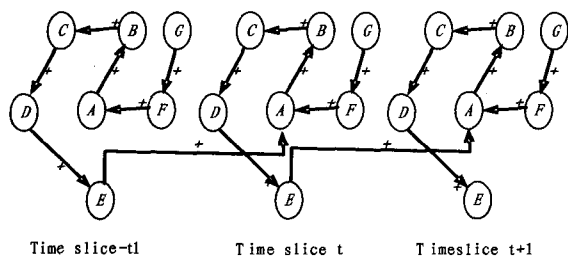


图3 虚线部分的展开及定性标注

下面我们对给定的几个节点进行定性推理。假设在时刻 $t-1$ 只有一个证据节点 G , 此时节点 G 的取值为“+”, 即节点 G 所代表的节点路由出现拥塞。输入证据节点后, 在展开后的定性动态概率网络上进行推理, 结果如图 4 所示。

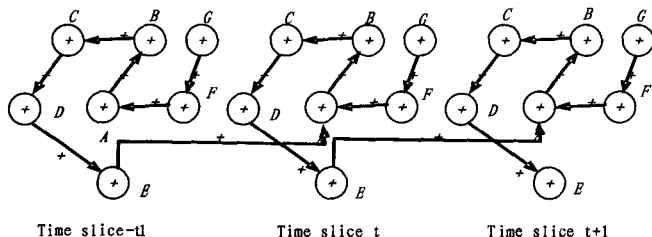


图4 虚线部分的推理结果

根据推理结果, 从因果关系上来看, 如果当前时刻节点 G 发生拥塞, 则会导致网络中所有节点发生拥塞, 反之亦然。此外, 在接下来的后续时刻中, 如果节点 A 发生拥塞, 则会导致环中的其它节点发生拥塞, 反之亦然。反馈环中的节点 A 则起着非常重要的作用, 因为它起着将拥塞与否的状态传递到后续时刻的作用, 可以视为关键节点。也可以说, 与关键节点 A 相比, 谁是证据节点就显得无足轻重了。

解决关键节点的拥塞问题也就成为了我们对上述主干网络拥塞控制的关键所在。针对关键节点 A , 我们可以采取相应的拥塞控制策略。按照模型, 我们经过反复的统计、模拟, 调整节点 A 发送和接收缓冲区的大小, 可以得出一个最佳上限阈值。超过了该阈值, 节点 A 将发生拥塞, 并且在后续时刻也将导致环路中的其他节点发生拥塞。

经过推理和分析, 我们可以对关键节点 A 采取以下两种网络拥塞控制策略。

(1) 采用主动队列管理, 根据上限阈值, 通过丢包来积极响应拥塞, 强行使超过上限阈值后到来的分组分流到其他的“辅道”, 而不进入反馈环中, 来达到拥塞控制。

(2) 将关键节点 A 设计成网状拓扑结构, 增加冗余度, 使该节点具有冗余的出入路径, 采用 OSPF 协议, 根据上限阈值, 可以灵活、动态选择最佳路径, 实现分组的改道发送。

结束语 本文所提出的模型并不能完全概括网络中纷繁复杂的拥塞情况, 但是将具体的网络拥塞通过定性概率网络来加以建模, 通过简单的定性推理后, 我们总能找到网络拥塞产生的问题所在, 找到关键节点。通过不断地模拟验证, 从而能够采取相应的拥塞控制策略, 使网络能避免拥塞。

参考文献

[1] 季敏, 张利萍. 网络拥塞控制概述[J]. 军民两用技术与产品, 2006(08): 40-41

[2] 魏星, 高振中. 网络拥塞控制概述[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2008(01): 35-36

[3] 钱民, 唐克生. 一种具有反馈环的定性动态概率网络的推理算法[J]. 计算机科学, 2010, 37(7A): 76-78

[4] Tang Ke-sheng, Liu Wei-yi, Qian Min. Application of Qualitative Time-series Dynamic Bayesian Networks with Feedback Loops [C]//Zhu Qingsheng, ed. Proceedings of the 11th Joint International Computer Conference. Singapore, 2005: 513-518

[5] Wellman M P. Fundamental concepts of qualitative probabilistic networks[J]. Artificial Intelligence, 1990(44): 257-303

[6] 韦健, 吴祈宗, 黄锴, 等. 定性影响图及其决策算法研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(8-3): 106-108

[7] 刘双贤, 刘惟一. 基于粗糙集的定性概率网推理冲突解决方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(6): 1447-1449

[8] Druzdel M J, Henrion M. Efficient reasoning in qualitative probabilistic networks[C]// Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence. AAAI Press, Menlo Park, California, 1993