

# 用神经网络预测负荷的路由选择方法

董 军<sup>1,2</sup>, 潘云鹤<sup>1</sup>

(11 浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027; 21 上海贝尔有限公司, 上海 201206)

**摘 要:** 电信网路由选择方法的优劣直接影响着网络的接通率和负荷平衡程度. 我国电信网的接通率只有 45% 左右. 据介绍, 若其接通率提高一个百分点, 收益可达 10 亿元. 本文针对目前所使用的路由选择方法的不足, 提出基于神经网络预测的新的路由选择方法, 包括性能指标、选路思想和递归神经网络预测等. 然后, 分析和比较仿真结果. 这个方法因良好的分布特性和智能决策能力而优于其它方法, 这为提高业务接通率和平衡网络负荷提供了良好途径.

**关键词:** 路由选择; 神经网络预测; 接通率; 负荷平衡

**中图分类号:** TP393, TN913 **文献标识码:** A **文章编号:** 037222112 (2001) 020257203

## A Routing Approach Based on Load Prediction Using Neural Network

DONG Jun<sup>1,2</sup>, PAN Yunhe<sup>1</sup>

(11 Institute of Artificial Intelligence, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 21 Shanghai Bell Co., Ltd. Shanghai 201206, China)

**Abstract:** Routing approach influences the switch rate and load equilibrium of network directly. In China mainland, network switch rate is about 45%. It is said that raising one percent of switch rate of current telecommunication's network will result in revenue almost one billion Yuan RMB. In the paper, on the bases of demerit analysis of routing selecting methods being used in switch, a new routing approach based on neural network prediction was presented, including performance indicators, routing method, and recurrent neural network prediction. After that, simulation results were analyzed and compared. It's better by virtue of its better distribution and intelligent decision ability, and provides excellent solution to improve network switch rate and balance network load.

**Key words:** routing; neural network prediction; switch rate; load balancing

## 1 引言

据有关部门介绍,我国目前长途电信网的业务接通率只有 45% 左右,链路的利用率仅为 30% ~ 40%, 负荷也很不平衡. 有估计称,我国电信网的接通率若能提高一个百分点,收益可达 10 亿元. 同时,高接通率可尽量避免交换机不堪重负甚至崩溃的情况. 这里,路由选择方法是一项极为重要的工作,它有着明显的效益和强大的市场动力(上述数据自上海贝尔有关技术资料).

由于网络负荷的随机性,无法预先保证网络一直处在较好的工作区,而只能在运行时加上某种控制. 原来的路由选择方法均以本交换机为中心,以呼叫在现有资源前提下被接通为目的,并没有全局的和系统的观点.

针对目前国内外交换机路由选择方法的不足,提出基于神经网络预测的新的路由选择方法,进行仿真、分析和比较. 它在接通率和负荷平衡方面有明显的优越性.

## 2 相关工作

电信网选路方法经过了从静态到动态的发展过程<sup>[1,2]</sup>. 静态方法根据路由表给出的固定顺序选择链路,它简单、可

靠,但不能反映实时业务. 于是人们考虑并实现了若干动态路由方法,它依赖于网络结点不断测量网络状态和性能. 有两类基本动态路由方法:时间依赖的和状态依赖的.

时间依赖路由的基本思想是:针对每天不同时间段的业务量不一样的事实,事先编出按时间段区分的路由选择表. 它可使话务量均衡,提高电路利用率. 但本质上是根据历史上的业务情况事先安排好的顺序.

状态依赖路由的基本思想是:根据网络当前状态信息决定选择哪条路由. 它需要较大的管理开销来交换信息. 可分为孤立的、集中的和分布的三种. 孤立法使每个结点仅有它自己的出路的状态信息.

动态控制路由(Dynamic Controlled routing, DCR)法是一种集中法,加拿大电信和加拿大 Bell 于 1991 年将它用于加拿大电信的计费网络. 它有一中央网络处理器周期地收集网络中各结点的信息. 当直路被占时,根据其算法得出的负载最小的迂回路由被选中.

该法使业务在整个网络中分布,便于吸收不可预见的波动,可能减少阻塞和无益的传输负荷,提高了系统接通率. 但

它需要分离的信号网络和计算中心,初始投资高,通信开销大,负荷也相应增多.

典型的分布法是实时网络路由(Real-Time Network Routing, RINR),于1991年被引入AT&T交换网.在没有直达路由时,它检查现有迂回路由及其负荷条件,最小负荷路由被选择.负荷溢出级有六等.选择时,始发交换机发消息给目的交换机,要求发回目的交换机认为具有轻负荷的交换机,始发交换机和目的交换机均认为是轻负荷的链路将被选中.这个方法减少了网络交换机中大量的路由表,减少了网络设计和预测的路由表计算,减少了下载新路由信息等管理路由的操作,减少了网络管理中自动重新选路由的开销,降低了阻塞程度.然而,由于信令信息交互很多,增加了网络负荷.

分布法相对优越,它不需要另外的设备并依赖于它,路由模式是在交换中实时计算的.使网络结点均有处理能力并将业务负荷移到网络中有能力承受的地方,是其突出的优点.这源于分布式法的/分布0特性.然而它的自适应性不足,缺乏/智能0,导致其系统性和全局能力依然很弱.

近年来,基于人工生命的路由选择,即基于蚂蚁取食的过程被建模和研究[3].人工蚂蚁在随机选择的结点对间移动,并留下某种痕迹,这种痕迹是它离源结点距离和途中所遇拥塞程度的函数.它们按照在每个结点所模仿的痕迹的分布选择路径.这个方法的着眼点是/行为0,各结点的决策能力有限,而且对过去/痕迹0的记忆难以精确化,且至今难以应用.

### 3 性能指标

基于神经网络预测的路由选择方法总的思想是,先把握网络的负荷趋势,在让呼叫被接通的前提下,全网的负荷(各结点间的链路上的中继线使用情况)要尽量平衡.设网络中各交换机结点的入呼数的均值分别为  $K_1, K_2, \dots, K_n$ ,

定义1 交换机结点入呼概率

$$P_i = K_i \setminus \sum_{i=1}^n K_i, i = 1, 2, \dots, n$$

设每个结点的接通率  $Nt_i =$  (该交换机结点入呼的应答数/该交换机结点的入呼数) \* 100%,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,

定义2 网络入呼接通率

$$\alpha = \sum_{i=1}^n P_i Nt_i / n, i = 1, 2, \dots, n$$

设各邻接交换机结点方向的平均负荷  $Le_i =$  占用爱尔兰/有效电路数,

定义3 负荷平衡度

$$La = E[Le^2] - [E(Le)]^2$$

呼叫的分布服从泊松分布,保持时间服从指数分布[4].

### 4 路由选择方法

电信网被映象成由可自主决策和交互的Agent[5]构成的多Agent系统,它们以一定时间间隔根据负荷的历史数据(时间序列)和当前负荷训练神经网络并预测下一时刻本结点可能的负荷情况.简化的交换机网络拓扑结构如图1

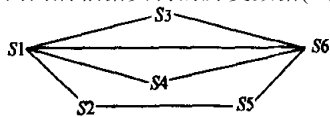


图1 简化的交换机网络拓扑结构

在直达路由,例如S12S6被占时,有呼叫请求的交换机S1将呼叫请求传给可选路由中的邻近交换机S3, S4(一级迂回), S3, S4将最新计算出的负荷情况与设定门限值作比较,然后把可以接入新呼叫的结果(含负荷百分比和空余链路数)回传给本局交换机.

Agent间的接收消息分为入呼、中继请求、中继呼叫和应答;发出消息分为应答和中继呼叫(中继呼叫既是接收的消息又是发出的消息).中继请求即请求将呼叫经本结点中继的消息;中继呼叫即呼叫本身.

入呼或中继请求进程的处理为:

(1)初始化,并等待消息.

(2)若消息为入呼,检查路由表.若有直达路由且中继线有空余,送出入呼.若无直达路由,则将入呼请求传给可选路由中的邻接交换机结点,邻接交换机结点会把可以接入新入呼的应答消息回传.若无可选路由,则入呼失败.转(7).

(3)若消息为中继请求,即请求将入呼经本交换机结点中继消息,则根据消息中所带路由信息,获得相应方向路由的负荷情况.若该交换机结点允许中继,则回传的应答消息中应包含相应方向预测所得的负荷百分比和空余链路数.返回(2).

(4)若消息为中继请求的应答,如果只有一条邻接链路满足要求,则该链路被选择,转7;如果无邻接链路满足要求,则入呼失败,返回2;如果有不止一条,则,两相比较,负荷值高且空余链路数少的不选,如果负荷高、空余链路多或负荷低、空余链路少,以负荷为最后比较依据,负荷高的不选,转7.

(5)若消息为中继入呼,即入呼本身,则根据消息中的路由信息,将相应的中继请求传给可选路由中的目的交换机结点,其处理如同入呼.

(6)修改相应入呼记录,或做等待应答标志,返回2.

(7)返回.

### 5 递归神经网络

就并行分布式处理模型而言,更好的方法是隐式而不是显式地表达时间.即通过对处理的影响而不是作为输入的附加维来表达时间[6].一种可能性是:给系统以对时间顺序响应的动态特性.对于神经网络而言,可通过增加/递归连接0来实现这一想法,从而顺序行为可保留前一响应.可将其称作/上下文单元0,它同样是/隐层单元0.

设网络外部输入为  $u(k-1) \in R^m$ , 输出为  $y(k) \in R$ , 隐层输出为  $x(k) \in R^n$ . 又设  $W^1, W^2, W^3$  分别为输入层到隐层、隐层到输出层和上下文单元到隐层的连接权矩阵.于是,递归神经网络结构示意图如图2.

在时间  $t$ , 输入单元接收第一次输入,上下文单元初始设为0.输入单元和上下文单元激励隐层单元,隐层单元前馈激励输出单元,还反馈激励上下文单元.这构成了向前激励.递归连接固定为1.在时间  $t+1$ ,上下文单元包含恰好为隐层单元时间  $t$  时的值.这使递归网络具有动态记忆能力.

网络在  $k$  时刻的输入不仅包括目前的输入值,还包括隐层单元前一时刻的输出值  $x_c(k)$ , 即  $x(k-1)$ .这时网络仅是一个前馈网络,可由上述输入通过前向传播产生输出,BP算

法用来进行连接权的修正。在训练结束后, k 时刻隐层的输出值将反传回上下文单元, 并保留到下一训练时刻 (k + 1)。

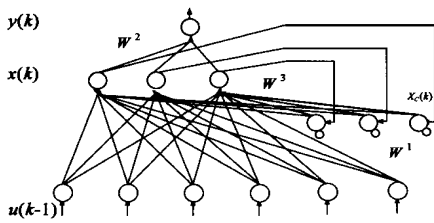


图2 递归神经网络结构

设  $f(\#)$  和  $g(\#)$  分别为隐层单元和输出单元的激发函数所组成的非线性向量函数,  $A$  为上下文单元的自反馈固定增益, 则有:

$$x(k) = f(W_3 x_c(k) + W_1 u(k-1)); x_c(k) = x(k-1) + A x_c(k-1),$$

$$y(k) = g(W_2 x(k)); w_{jq}^1 = \text{diag}\{u_q(k-1), j = 1, 2, \dots, n; q = 1, 2, \dots, m$$

$$w_{ij}^2 = \text{diag}\{x_j(k), j = 1, 2, \dots, n;$$

$$w_{jl}^3 = \text{diag}\{w_{jl}^3 [5x_j(k)/5w_{jl}^3], j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n$$

$$[5x_j(k)/5w_{jl}^3] = f_{c_j}(\#) x_j(k-1) + A [5x_j(k-1)/5w_{jl}^3]$$

$$D_j^l = (y_{a,i}(k) - y_i(k)) g_{c_j}(\#); D_j^l = (D_j^l)^2 f_{c_j}(\#)$$

$f(\#)$  和  $g(\#)$  分别取为

$$f(x) = 2 / (1 + e^{-2x}) - 1, g(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

先后获取了某省六个主要市(即 6 个交换机结点, 全连接) 1999 年前 7 个月的去话话务数据。每天的数据中, 以一小时为间隔, 有有关各目的地的 24 笔记录。每笔记录有 10 个域, 分别为时间、目的区号、电路数、有效电路数、入呼数、占用数、成功数、应答数、占用爱尔兰数和有效爱尔兰数。

这里需要第一、二、四和九项。平均负荷  $Le_{ij}$  为占用爱尔兰数(第九项)/有效电路数(第四项), 它们被用于人工神经网络训练。选择人工神经网络输入神经元个数为 24 个, 输出神经元个数为 1 个, 隐层神经元个数选 15 个。可留下后面若干数据用于网络训练完后的预测。例如, 对省会城市到一地级市方向, 用 99 年 4 月、5 月、6 月和 7 月上半月的历史负荷数据训练神经网络, 预测 7 月下半月的负荷。由结果如图 3 可知, 预测趋势和实际情况是一致的。

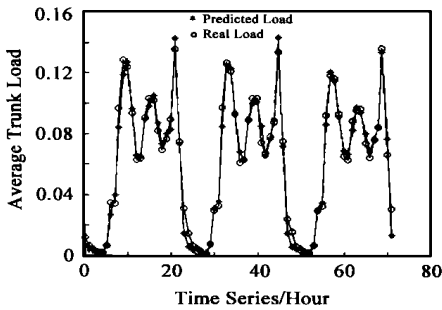


图3 7月20~22日的预测情况

输出神经元个数为 1 个, 隐层神经元个数选 15 个。可留下后面若干数据用于网络训练完后的预测。例如, 对省会城市到一地级市方向, 用 99 年 4 月、5 月、6 月和 7 月上半月的历史负荷数据训练神经网络, 预测 7 月下半月的负荷。由结果如图 3 可知, 预测趋势和实际情况是一致的。

### 6 仿真结果

在 SUN Ultra 60 工作站(双 SPARC 360 CPU)上, 用 Java(人机界面)、C/C++(算法等), 基于 1999 年前 7 个月某省的去话话务数据, 开发仿真系统。

对照方法是 DCR 和 RINR。MNR 指本方法。有关参数为: 单位时间步长: 1 秒; 入呼序列总的持续时间步: 7200; 平均保持时间: 270 秒。

对六个结点的不同的平均入呼数(最大值为表中给定值)

在总的持续时间步里按这样的比例区分: 16, 11, 6, 8, 11, 14, 10, 8, 5, 6, 10, 15。入呼接通率和负荷平衡度的值见表 1。

表 11.1	K= 8, 4, 2, 2, 2, 2	DCR	RINR	MNR
	$C_t$	1	1	1
$L_a$	0	0	0	
表 11.2	K= 6, 6, 6, 6, 6, 6	DCR	RINR	MNR
	$C_t$	0.79042	0.90858	0.95746
$L_a$	0.04754	0.03766	0.00486	
表 11.3	K= 12, 12, 12, 8, 8, 4	DCR	RINR	MNR
	$C_t$	0.75453	0.86236	0.89622
$L_a$	0.02968	0.03667	0.01033	
表 11.4	K= 6, 6, 6, 4, 4, 2	DCR	RINR	MNR
	$C_t$	0.94671	0.95938	0.98793
$L_a$	0.01050	0.00989	5.143156e-4	
表 11.5	K= 15~ 10	DCR	RINR	MNR
	$C_t$	0.59744	0.68245	0.71115
$L_a$	0.03017	0.05705	0.01957	

由表 1 可看到, MNR 的接通率 ( $C_t$ ) 和负荷平衡度 ( $L_a$ ) 比 RINR 和 DCR 好。

### 7 小结

针对长信网发展的要求, 在分析目前所使用的路由选择方法的不足的基础上, 提出基于神经网络预测的新的路由方法。仿真表明, 它因其良好的分布特性和智能决策能力而优于其它方法。这样一个模型要用到实际电信网络上, 在可靠性等方面还要做很多的工作。

致谢: 宋瑞祥、朱强、冯雅中、袁贞明的有益工作。

### 参考文献:

- [ 1 ] Ash Gerald R. Dynamic network evolution, with examples from AT&Tcs evolving dynamic network [ J ]. IEEE Communications Magazine, 1998, 7:26- 39.
- [ 2 ] ITUT Revised Recommendation E [ Z ]. 170, 1992.
- [ 3 ] Schoonderwoerd Ruud, Owen Holland and Janet Bruten. Anlike agents for load balancing in telecommunications networks [ OB/ OL ]. <http://www2uk.hpl.hp.com/people/ruud/abc.html>, 1996.
- [ 4 ] V. K. Rohatgi. 概率论及数理统计导论 [ M ]. 高等教育出版社, 1983: 218- 288.
- [ 5 ] 董军, 潘云鹤. 路由选择的多 Agent 系统模型 [ J ]. 计算机学报, 2000, 23(2): 221- 225.
- [ 6 ] Jeffrey L. Elman. Finging structure in time [ J ]. Cognitive Science, 1990, 14: 179- 211.

### 作者简介:



董 军 博士后, 主要兴趣为多 Agent 系统、智能通信和软件工程等。

潘云鹤 教授, 工程院院士, 主要研究人工智能、智能 CAD 和认