

基于神经网络和粒子群算法的 MPEG 视频传输控制^{*}

向 涛 涂风华 廖晓峰
(重庆大学计算机学院 重庆 400044)

摘 要 本文给出了一个 MPEG 视频传输控制的模型,模型中由若干个令牌桶和一个复用器来控制视频流的传输,并给出了表示该系统各状态的差分方程及其性能评价的代价函数,在此基础上,提出了利用神经网络和粒子群优化算法相结合的优化控制方案,实验结果表明,该方案能够有效地提高系统的传输性能。

关键词 神经网络,粒子群,MPEG,Qos

Transmission Control of MPEG Video Based on Neural Network and Particle Swarm Algorithm

XIANG Tao TU Feng-Hua LIAO Xiao-Feng

(Department of Computer Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract A model of transmission control of MPEG video is addressed, in which the traffic is controlled by several token buckets and a multiplexer, and a suit of differential equations presenting the system status are given, based on which a optimal control strategy using neural network and particle swarm algorithm is proposed. Simulation results verify its feasibility and remarkable effect.

Keywords Neural Network, Particle Swarm, MPEG, Qos

1 引言

随着网络的普及和应用范围的拓展,网络多媒体服务如流媒体、视频点播和视频会议等是目前和将来互联网上的一项重要业务,但是目前 Internet“尽力而为”(best-effort)的服务模式不能满足这些业务对数据传输的实时性和传输带宽的要求。为此,互联网工程任务组 IETF(Internet Engineering Task Force)先后提出了综合服务(Integrated Services, Int-Serv)^[1,2]和区分服务(Differentiated Services, DiffServ)^[3,4]的基于服务质量(Qos)的下一代网络体系结构,引入了令牌桶(Token Bucket)机制对网络流量进行速率控制和整形。

将令牌桶机制应用到 MPEG 视频流传输控制是目前视频传输研究的热点之一^[5,6],有些利用令牌桶来进行接入控制,即利用令牌产生的速率控制终端 MPEG 流的接入速率;同时由于 MPEG 视频流数据具有突发性,有些也利用令牌桶来对其进行流量整形。在本文中,我们利用令牌桶控制 MPEG 流的接入速率并对其进行整形,同时利用复用器对多个接入的 MPEG 流进行复用;在给出了表示系统数据丢失和服务时延的代价函数的基础上,利用神经网络和粒子群算法对此代价函数进行优化,从而决定令牌产生的可变速率,减少系统的数据丢失和降低服务时延。

2 系统模型及其状态方程

2.1 符号约定

1)对任意的 $x, y \in \square$, 定义:

$$x \wedge y = \min(x, y), x \vee y = \max(x, y)$$

2)对任意的 $x, y \in \square^n$, 定义:

$$x \wedge y = (x_1 \wedge y_1, x_2 \wedge y_2, \dots, x_n \wedge y_n), x \vee y = (x_1 \vee y_1,$$

$$x_2 \vee y_2, \dots, x_n \vee y_n)$$

3)对任意条件判断表达式 S , 定义:

$$I(S) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } S \text{ 为真} \\ 0, & \text{如果 } S \text{ 为假} \end{cases}$$

2.1 系统模型

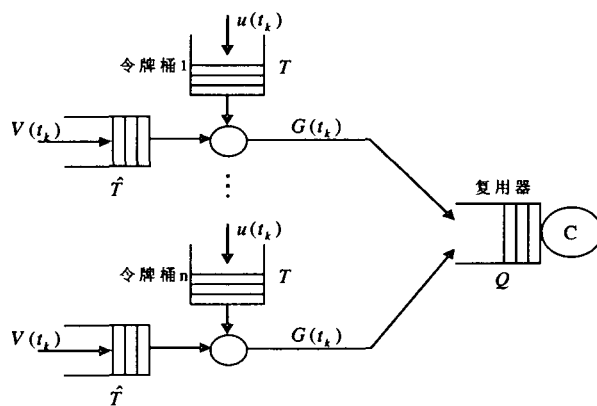


图 1 MPEG 传输控制模型

在图 1 中我们给出了系统的传输控制模型,考虑到实际的需求,我们采用了多个令牌桶来控制多个终端的接入,每个令牌桶有一个单独的数据缓冲区,再通过复用器将这些数据复用后统一传输,在该系统中网络数据流是 MPEG 编码的视频帧数据。

我们用 $I_k, k=0, 1, 2, \dots, K$ 表示帧区间 $[t_k, t_{k+1})$, τ 表示帧区间 I_k 的长度,并且假设在该时间段内最多只有一帧数据到达; $V(t_k)$ 表示在帧区间内 I_k 令牌桶数据缓冲区收到的所有数据包的大小,即在帧区间 I_k 内所到达帧的大小; $u(t_k)$ 表示令牌桶在帧区间 I_k 内所产生的令牌的个数,超过令牌桶容量的令牌将被丢弃; $G(t_k)$ 表示在帧区间 I_k 内经过令牌桶整形后进入复用器的数据流的大小,由令牌桶工作原理可知,在某时刻进入到令牌桶数据缓冲区的数据,如果此时令牌桶里

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(60271019)。

有与其对应数量的令牌,那么所有的数据均可以通过令牌桶进入到复用器,否则多余的数据将继续在缓冲区内排队等待,超过缓冲区容量的部分将被丢弃; C 表示复用器的输出速率; $\hat{T}$ 、 T 和 Q 分别表示令牌桶数据缓冲区、令牌桶和复用器数据缓冲区的容量。

考虑到多用户的情况,以上除了复用器以外,其他各参数均需表示成向量的形式。

2.3 状态方程

假设图1所示的系统中有 n 个接入终端,那么系统可以用 $2n+1$ 维的向量 $(\hat{\rho}, \rho, q)$ 来表示其状态,其中 $\hat{\rho}=(\hat{\rho}_1, \hat{\rho}_2, \dots, \hat{\rho}_n)^T$, $\hat{\rho}_i$ 表示第 i 个令牌桶数据缓冲区的状态(数据大小); $\rho=(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)^T$, ρ_i 表示第 i 个令牌桶的状态(令牌数); q 是表示复用器数据缓冲区的状态(数据大小)的一个标量。以下我们将给出各状态变量的差分方程表示。

首先,我们给出令牌桶数据缓冲区的状态差分方程,我们用 $\hat{\rho}(t_k)$ 表示在 t_k 时刻缓冲区内的数据大小,那么:

$$\hat{\rho}(t_{k+1}) = \hat{\rho}(t_k) + \{V(t_k) \wedge [T - \hat{\rho}(t_k)]\} - G(t_k) \quad (1)$$

等式右边第一项表示缓冲区前一时刻的状态,第二项表示在 I_i 内进入缓冲区的有效数据大小,在 I_i 内消耗的数据量为 $G(t_k)$ 。

类似地,我们可以给出表示令牌桶和复用器数据缓冲区的状态差分方程如下:

$$\rho(t_{k+1}) = \rho(t_k) + \{u(t_k) \wedge [T - \rho(t_k)]\} - G(t_k) \quad (2)$$

$$q(t_{k+1}) = \{q(t_k) + \{\sum_{i=1}^n G_i(t_k) \wedge [Q - q(t_k)]\} - C\tau\} \vee 0 \quad (3)$$

下面,我们给出(1)、(2)、(3)式中的 $G(t_k)$ 的方程表示:

$$G(t_k) = \{\hat{\rho}(t_k) + \{V(t_k) \wedge [T - \hat{\rho}(t_k)]\}\} \wedge \{\rho(t_k) + \{u(t_k) \wedge [T - \rho(t_k)]\}\} \quad (4)$$

其实际物理含义是在 I_i 内进入复用器的数据量是在 I_i 内到达令牌桶数据缓冲区的有效数据和令牌桶在 I_i 积累令牌总数之间的较小的一个。

同时,考虑到令牌桶和复用器的数据缓冲区有其容量限制,对于过大的突发数据会存在丢包的情况,所以我们也分别给出计算其数据丢失量的公式:

$$R(t_k) = \{V(t_k) - [T - \hat{\rho}(t_k)]\} I\{V(t_k) \geq [T - \hat{\rho}(t_k)]\} \quad (5)$$

$R(t_k)$ 表示在 I_k 内令牌桶数据缓冲区的数据丢失量,容易看出,当在 I_k 内到达的数据量大于此时所剩存储量时,就会发生数据丢失。

类似地, I_k 内复用器缓冲区的数据丢失量 $L(t_k)$ 可以表示如下:

$$L(t_k) = \{\sum_{i=1}^n G_i(t_k)\} - \{\sum_{i=1}^n G_i(t_k) \wedge [Q - \{q(t_k) - C\tau\}]\} \vee 0 \quad (6)$$

3 基于神经网络和粒子群算法的优化控制

为了使系统性能达到最优,需要将式(5)和(6)所表示的系统数据丢失量降至最低,同时考虑到在令牌桶和复用器的缓冲区内数据在排队等待服务时存在时延,综合各种因素,我们可以定义如下的代价函数:

$$J(u) = \sum_{k=0}^K \alpha(t_k) L(t_k) + \sum_{k=0}^K \sum_{i=1}^n \beta_i(t_k) R_i(t_k) + \sum_{k=0}^K \gamma(t_k) \hat{\rho}(t_k) + \sum_{k=0}^K \lambda(t_k) q(t_k) \quad (7)$$

$$+ \sum_{k=0}^K \lambda(t_k) q(t_k) \quad (7)$$

其中 $\alpha(t_k)$ 、 $\beta_i(t_k)$ 、 $\gamma(t_k)$ 和 $\lambda(t_k)$ 分别表示各影响因素的权。

我们的目标便是选择适当的 u 使 $J(u)$ 尽可能地小,但是由于 $J(u)$ 是非连续的非线性函数,因此不能使用常规的最优化方法;且其自变量维数很高,计算量非常惊人。所以我们需要采取一些简单易行的方法在可以接受的时间内寻求其次优解,而且这也是比较实用的工程解决办法。

3.1 神经网络控制

我们知道神经网络有很强的非线性映射功能,我们考虑如图2所示的一个两层前馈神经网络:

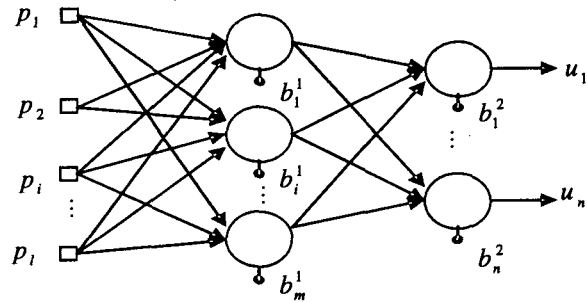


图2 2层前馈神经网络

如果我们用图1所示系统的各状态变量来作为其输入,即 $p=(V, \hat{\rho}, \rho, q)$,输出看作是(7)式中所要求的 u ,则其映射可以表示为:

$$u = N(W, p) \quad (8)$$

将(8)式分别代入(1)、(2)、(3)式,则(7)式可改写为:

$$J(W) = \sum_{k=0}^K \alpha(t_k) L(t_k, W) + \sum_{k=0}^K \sum_{i=1}^n \beta_i(t_k) R_i(t_k, W) + \sum_{k=0}^K \gamma(t_k) \hat{\rho}(t_k, W) + \sum_{k=0}^K \lambda(t_k) q(t_k, W) \quad (9)$$

现在我们的目标便转换成了在 $W \in \square^d, d=m(l+1)+m(n+1)$ 中找到一个 W^* ,使得(9)式的 $J(W^*)$ 最小。

3.2 粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Algorithm, PSA)是一种比较新的进化计算技术(Evolutionary Computation),由Eberhart和Kennedy提出^[7,8],其思想源于对鸟群捕食的行为研究和模拟,后来由Shi对其进行改进,引入了惯性权重(Inertia Weight)^[9],加快了算法的收敛速度,并且提高了算法的性能。

粒子群算法本质上是一种概率寻优算法,因此对目标函数几乎没有什么要求,同时也非常适合高维变量的情况,这与我们讨论的需求相符,所以,我们利用改进的粒子群优化算法对(9)式在 $\square^d$ 中进行寻优,当算法迭代至一定的步数或者解达到一定的精度后我们将其得到的次优解 W^* 作为优化控制的参数。

4 数值实验

4.1 实验数据

为了实验的方便,我们仅对最简单的情况,即只有一个接入终端做了仿真,实验平台为Matlab6.5,实验数据取自影片《星球大战IV》中的一段场景^[10]。其统计数据如下表1和图3所示。

表1 实验数据统计

时长	编码格式	帧数	最大帧	最小帧	峰值速率	平均速率
12s	MPEG-4	300	5358 Byte	536 Byte	1.022 Mbps	0.4257 Mbps

(下转第186页)

的是查询更全面的数据,下钻是查询更详细的数据。具体操作如下:through(时间:年=2003,月,NULL),从按年组织的数据出发,察看 2003 年各个月的电力销售量。

(4)历史同期比较

对于多个数据仓库,历史同期比较操作提供了同以前数据进行比较的功能。操作如下:h-comparison(2001,2002,1,month,sum,NULL,GRAPH),将 2001~2002 年每年的售电量按照月份进行比较,并以直方图的形式显示。

(5)横向比较

对于多个数据仓库,横向比较操作可以比较用电类别之间、区域之间的销售数据。操作如下:

h-comparison({工业用电,居民用电},sum,时间:月,地区:城市),将每个城市每月居民用电和工业用电的销售量进行比较。

从上面的实例中看出,电力营销数据仓库系统中的操作能实现传统的联机分析处理操作所实现的功能,所以可以使用上述数据操作命令替代传统的联机分析处理操作。

结论 本文以电力营销的实际需求为背景,根据群体决策的特殊要求,提出了一种用于构建关联维的算法以及在关联维上的操作。本算法能够帮助用户准确地把握市场趋势,作出更加合理的决策。

(上接第 135 页)

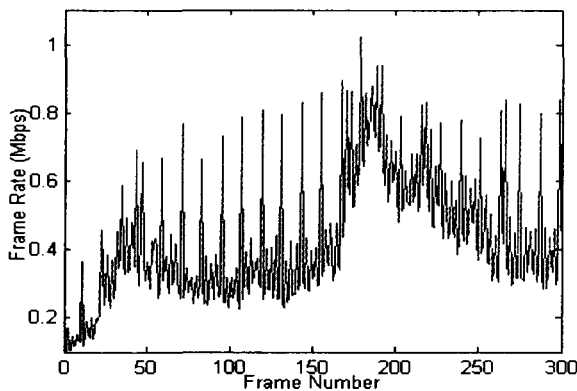


图 3 实验数据帧速率统计图

4.2 参数设置

1)对于(9)中的各影响因素的权,根据各因素的重要性,我们做如下设置: $\alpha(t_k) \equiv 10$, $\beta(t_k) \equiv 5$, $\gamma(t_k) \equiv 0.05$, $\lambda(t_k) \equiv 0.05$ 。

2)关于图 1 所示系统各参数设置如下: $T=5000\text{Bytes}$, $\bar{T}=10000\text{Bytes}$, $Q=6000\text{Bytes}$, $\tau=0.04\text{s}$, $C=0.3\text{Mbps}$, 0.4257Mbps , 1.0Mbps 。

3)神经网络为 2 层的前馈神经网络;输入个数为 4;第一层神经元个数为 3,激活函数为 tansig;第二层为神经元个数 1,激活函数为 poslin。

4)粒子群算法中迭代次数为 200,惯性权重由初始值 0.9 到 0.1 线性递减。

4.3 实验结果及其分析

对不同的 C 的取值,分别在 $u=1572$ (小于平均速率), $u=2231$ (平均速率)、 $u=5358$ (峰值速率)和 u 由神经网络及粒子群算法控制下做了不同的实验,得出的数据如表 2。

将来的研究工作和发展方向是基于混合数据仓库对象模型和雪花模型,以及如何加速查询的响应时间。

参考文献

- 1 郑永清,高爱强,李庆忠,等. SCDDWS 中的数据操纵命令集[A]. 12 届 CAD/CG 学术会议论文集[C]. 贵阳:中国计算机学会, 2002,497~501
- 2 隋琪,郑永清,杨少军,等. 一个对象和雪花模型混合的数据仓库模型[A]. 12 届 CAD/CG 学术会议论文集[C]. 贵阳:中国计算机学会,2002,562~566
- 3 孙晓,李庆忠. 支持企业群体决策的一种数据仓库模型[J]. 计算机集成制造系统,2003,9:85~90
- 4 Codd E F, Codd S B, Salley C T. Providing OLAP(On-Line Analytical Processing) to User Analyst: An IT Mandate. [EB/OL]http://www.arborsoft.com/OLAP.html, 2004
- 5 Chaudhuri S, Dayal U. An overview of data warehouseing and OLAP technology[J]. SIGMOD Record, 1997, 26(1): 65~74
- 6 Gray J, Chaudhuri S, Bosworth A, et al. Data cube: a Relational aggregation operator generalizing group-by, cross-tab and sub Totals[J]. Data Mining and Knowledge Discovery Journal, 1997, 1(1): 29~53

表 2 实验所得 $J(u)$ 统计

C \ u	C		
	0.3 Mbps	0.4257 Mbps	1.0 Mbps
1572	1165200	1119100	1119100
2231	553580	443110	422300
5358	463540	39604	18
NN 和 PSA 控制	139930	22795	18

从表 2 我们可以看出,在固定复用器输出速率 C 的情况下,由神经网络和粒子群算法控制优化控制时,系统的代价函数值明显小于其他情况,从而证实了我们所提出方案的有效性。

结论 本文在给出了一个 MPEG 视频传输模型的基础上,详细给出了其系统参数说明和状态方程,以及评价系统性能的代价函数,提出了通过神经网络和粒子群算法对令牌桶产生速率进行控制的方案,并且通过实验证实了该方案的有效性,且能够显著地提高系统的传输性能。

参考文献

- 1 IETF. Specification of the Controlled-Load Network Element Service[S]. RFC2211, 1997
- 2 IETF. Specification of Guaranteed Quality of Service [S]. RFC2212, 1997
- 3 IETF. An Architecture for Differentiated Services[S]. RFC2475, 1998
- 4 IETF. Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet[S]. RFC2638, 1999
- 5 Alam M F, Atiquzzaman M, Karim M A. Effects of source traffic shaping on MPEG video transmission over next generation IP networks[C]. In: IEEE Eight Intl. Conf. on Computer Communications and Networks, 1999. 514~519
- 6 Lombaedo A, Schembra G, Morabito G. Traffic specifications for the transmission of stored MPEG video on the Internet[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2001, 3: 5~17
- 7 Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]. IEEE Intl. Conf. on Neural Networks, 1995, 4: 1942~1948
- 8 Eberhart R. A new optimizer using particle swarm theory[C]. In: Proc. of the Sixth Intl. Symposium on Micro Machine and Human Science, 1995. 39~43
- 9 Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer[C]. IEEE Intl. Conf. on Evolutionary Computation, 1998. 69~73
- 10 http://www.tkn.tu-berlin.de/research/trace/trace.html