

ATM 网络虚通道资源动态分配的分散控制*

韩 兵 曲润涛 席裕庚
(上海交通大学自动化研究所 200030)

摘 要 建立了 ATM 网络 VP 资源分配控制模型, 并对其进行了分散化处理, 使用动态规划求出分散模型下的控制律。仿真结果表明, 尽管在性能上比集中控制稍有下降, 但其可实现性和扩展性远远高于集中控制; 与简单的反馈方案相比, 降低了呼叫损失, 提高了网络的利用率。

关键词 ATM, 虚通道, 分散控制, 资源动态分配
分类号 TN 91

Decentralized Control of Dynamic Resource Allocation Problem of Virtual Path in ATM Networks

Han Bing, Qu Runtao, Xi Yugeng
(Shanghai Jiaotong University)

Abstract The model of the resource control problem of VP is established and then decentralized. The decentralized control law is obtained by using the dynamic programming. Though it is not optimal as compared with the centralized method, it has less call loss with respect to the simple feedback control and the efficiency of networks has been improved. It is also easy to realize in true networks.

Key words ATM, virtual path, decentralized control, dynamic resource allocation

1 引 言

在 ATM 网络^[1]中, 信元的传递是通过虚信道 (VC) 进行的。为了便于对 VC 进行管理, 在 ATM 网络中又定义了一种特殊的通道——虚通道 (VP)。通过 VP 虚网络可以重新组织资源, 实现资源动态分配, 以提高网络的效率^[2]。

VP 资源动态分配问题可分为集中式和分散式两种方案^[3]。集中式处理^[4]面临信息传送的时延、信息处理的实时性等问题。由于网络规模庞大, 为使 VP 资源分配控制快速实时地进行, 采用处理速度快、计算功能分散以及容错性能高的分布式处理方案更为可行。

文献[5]研究了分散的 VP 资源分配控制问题, 但仅仅集中在对单 VP 带宽的简单反馈控制上, 并未考虑资源分配的优化和各 VP 间的协调问题。本文则从优化的角度研究 VP 资源的分散控制问题。

2 VP 资源动态控制的集中式建模

本节针对 ATM 网络 VP 资源动态控制的特点, 建立 ATM 网络 VP 资源控制的模型。

定义 $r(k)$ 为呼叫请求信元量, k 为逻辑时间批次; $y(k)$ 为实际传送信元流量, 它由如下两部分组成。

$$y(k) = x_1(k) + x_2(k) \quad (1)$$

其中, $x_1(k)$ 为第 k 次请求实际传送量, $x_2(k)$ 为送入存储等待的信元量, 分别定义为

$$\begin{cases} x_1(k) = \max \bar{x}(k) \\ \bar{x}(k) = \begin{cases} x(k) & | 0 < x(k) < r(k), \\ \Phi_{\left\{ \sum_{l=0}^k \lambda(l)(x(l) + x_2(l-1)), u \right\}} & | 0 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_2(k) = \max \bar{x}(k) \\ \bar{x}(k) = \begin{cases} x(k) & | 0 < x(k) + x_1(k) < r(k), \\ \Phi_{x(k), v} & | 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

其中, u, v 分别为 VP 带宽控制和缓冲区存量控制, $\Phi(x, u)$ 为时间窗实际传送信元量约束, $\Phi(x, v)$ 为缓

* 科技部基础研究基金项目(1996 - 079)

冲等待信元量约束, $\lambda(k)$ 是递减的指数因子, $x(l) + x_2(l-1)$ 是 l 次传送的信元量。

定义 $x_3(k)$ 为呼叫损失量, 则

$$x_3(k) = r(k) - y(k) \quad (4)$$

式(1) ~ (4) 构成了 ATM 网络 VP 资源分配的动态控制模型。根据该模型以及信元呼叫损失最少的性能指标 $J(k) = \sum x_3(k)$, 可以实现 VP 资源集中的最优资源分配。但是全局最优的求解需要知道全局的流量和资源分配信息, 并由各网络单元将信息传送到网络中心进行计算, 控制的实时性难以保证。因此在实际的网络环境中, 集中控制是很难实现的。

3 VP 资源动态控制的分散化模型

为将优化机制引入分散控制, 本节对上节建立的集中模型进行分散化处理, 针对每一链路建立其分散模型, 以此作为控制优化和各 VP 间协调的基础。

按链路进行分散化可以得到分散模型。对于第 i 条链路, 有

$$y_i(k) = x_{i1}(k) + x_{i2}(k) \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_{i1}(k) &= \max \bar{x}_i(k) \\ \bar{x}_i(k) &= \left\{ x_i(k) \mid 0 \leq x_i(k) \leq r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k), \right. \\ &\quad \left. \mathcal{Q} \left(\sum_{l=0}^k \lambda(k)(x_i(l) + x_{i2}(l-1)), u_i \right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_{i2}(k) &= \max \bar{x}_i(k) \\ \bar{x}_i(k) &= \left\{ x_i(k) \mid 0 \leq x_i(k) + x_{i1}(k) \leq r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k), \Phi(x_i(k), v_i) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$x_{i3}(k) = r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - y_i(k) \quad (8)$$

其中, $r_i(k)$ 为链路 i 呼叫请求信元量, k 为逻辑时间批次, $y_i(k)$ 为链路 i 实际服务信元量, $x_{i1}(k)$ 为第 k 次请求链路 i 实际传送量, $x_{i2}(k)$ 为链路 i 送入存储等待的信元量, u_i 和 v_i 分别为链路 i 的 VP 带宽控制和缓冲区存量控制, $\mathcal{Q}(x)$ 为链路 i 时间窗实际传信元量约束, $\Phi(x)$ 为链路 i 缓冲等待信元量约束, $x_{i3}(k)$ 为链路 i 呼叫损失信元量, $B_{ij} y_j(k)$ 表示链路 i 中 VP 和链路 j 中 VP 的关联, B_{ij} 的值由路由决定, 该项是分散模型和集中模型的区别所在。式(5) ~ (8) 表达了 ATM 网络 VP 资源分配的分散模型。

4 VP 资源控制问题优化的分散控制律

对于上节的分散化模型, 假设网络中链路数为 L , VP 资源控制变量和资源约束为

$$u_i(k) \in \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_m\}, \quad u_i(k) \leq u_i \quad (9)$$

$$v_i(k) \in \{\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_m\}, \quad v_i(k) \leq v_i \quad (10)$$

VP 资源控制要求考虑在一段时间内已建立的 VP 流量和新的呼叫请求

$$\mathcal{Q}(x_i, u_i) = 0$$

$$\text{即} \quad \sum_{l=1}^k \lambda(k)(x_i(l) + x_{i2}(l-1)) \leq u_i(k) \quad (11)$$

$$\Phi(x_i, v_i) = 0$$

$$\text{即} \quad x_i(k) \leq v_i(k) \quad (12)$$

设优化性能指标以信元呼叫损失最少为度量,

即

$$J(k) = \sum_{i=1}^L J_i(k) = \sum_{i=1}^L x_{i3}(k) = \sum_{i=1}^L \left\| r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - y_i(k) \right\| \quad (13)$$

将性能指标分散化, 对于每个子系统 i , 定义其性能指标为

$$J_i(k) = x_{i3}(k) = \left\| r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - y_i(k) \right\| \quad (14)$$

根据分散化模型(5) ~ (8) 和性能指标(14), 假设对于第 i 个子系统, 其它子系统的控制 $u_j(k)$ 和流量 $y_j(k)$ 已知。定义 $W_i^*(k)$ 为第 k 拍后的最优性能指标, 根据动态规划原理^[7], 有

$$\begin{aligned} W_i^*(k) &= \min_{u_i(k)} \min_{v_i(k)} \left\{ x_{i3}(k) + W_i(k+1) \right\} = \\ &= \min_{v_i(k)} \left\{ \left\| r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - \max_{u_i(k)} x_{i1}(k) - x_{i2}(k) \right\| + W_i^*(k+1) \right\} \end{aligned}$$

由上式得

$$u_i^*(k) = \arg \max_{u_i(k)} x_{i1}(k) \quad (15)$$

$$v_i^*(k) = \arg \max_{v_i(k)} x_{i2}(k) \quad (16)$$

由式(9), 带宽约束为

$$\sum_{l=1}^k \lambda(k)(x_i(l) + x_{i2}(l-1)) \leq u_i(k)$$

设

$$\lambda(k-1)(x_{i1}(l) + x_{i2}(l-1)) = \mathcal{N}_i^*(k-1)$$

并设 $\lambda(k) = \alpha, l = k; \lambda(k) = \beta\lambda(k-1), l = k-1$ 。取 $0 < \alpha < 1, \alpha + \beta = 1$ 。于是得

$$\alpha(x_{i1}(k) + x_{i1}(k-1)) + \beta\mathcal{N}_i^*(k-1) = u_i(k)$$

由上式和式 (15) 可得 VP 的带宽控制 $u_i(k)$ 。考虑资源总量的约束 (9), 对违反约束的控制做限幅处理后得出:

对于 $u_i(k) = u_z$, 有

$$u_i^*(k) = \begin{cases} \min_{u_i(k)} u_i(k) \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &u_i(k) < \beta\mathcal{N}_i^*(k-1) + \\ &\alpha \left(r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i2}(k-1) \right) \end{aligned} \right\} \\ \max_{u_i(k)} u_i(k) \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &u_i(k) > \beta\mathcal{N}_i^*(k-1) + \\ &\alpha \left(r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i2}(k-1) \right) \end{aligned} \right\} \end{cases}$$

对于 $u_i(k) = u_z$, 有

$$u_i^*(k) = \begin{cases} \min_{u_i(k)} u_i(k) - d_i \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &u_i(k) < \beta\mathcal{N}_i^*(k-1) + \\ &\alpha \left(r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i2}(k-1) \right) \end{aligned} \right\} \\ \max_{u_i(k)} u_i(k) - d_i \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &u_i(k) > \beta\mathcal{N}_i^*(k-1) + \\ &\alpha \left(r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i2}(k-1) \right) \end{aligned} \right\} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^L (u_i(k) - d_i) = u_z$$

根据式 (14) 和 (16) 可得 VP 的缓冲区控制 $v_i(k)$ 。考虑资源总量的约束 (10), 对违反约束的控制做限幅处理后得出:

对于 $v_i(k) = v_z$, 有

$$v_i^*(k) = \begin{cases} \min_{v_i(k)} v_i(k) \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &v_i(k) < r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i1}(k) \end{aligned} \right\} \\ \max_{v_i(k)} v_i(k) \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &v_i(k) > r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i1}(k) \end{aligned} \right\} \end{cases}$$

对于 $v_i(k) = v_z$, 有

$$v_i^*(k) = \begin{cases} \min_{v_i(k)} v_i(k) - e_i \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &v_i(k) < r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i1}(k) \end{aligned} \right\} \\ \max_{v_i(k)} v_i(k) - e_i \\ \text{if } \left\{ \begin{aligned} &v_i(k) > r_i(k) + \sum_{j \neq i} B_{ij} y_j(k) - x_{i1}(k) \end{aligned} \right\} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^L (v_i(k) - e_i) = v_z$$

其中, $\{U, V\}$ 为允许控制集, α 为带宽控制调整因子。

对于第 i 个子系统 (第 i 条链路), 在 k 时刻, 其它子系统的控制 $u_j(k)$ 和流量 $y_j(k)$ 一般并不可知, 但由于网络业务流量是相关的, 故可使用预估的控制及流量 $\tilde{u}_j(k), \tilde{v}_j(k)$ 和 $\tilde{y}_j(k)$ 来代替 $u_j(k), v_j(k)$ 和 $y_j(k)$ 可以使用神经网络^[6]或其它预测方法得到。本文简单地使用 $u_j(k-1)$ 和 $y_j(k-1)$ 代替 $u_j(k)$ 和 $y_j(k)$, 从下节的仿真中可以看出, 即便如此控制也是有效的。

5 仿真结果

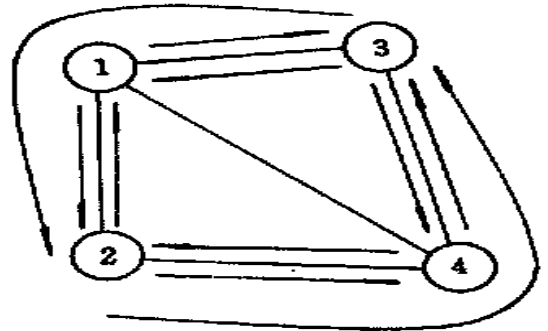


图 1 一个简单的 ATM 网络

图 1 是一个简单的 4 个节点和 5 条链路的 ATM 网络。假设 $r(k)$ 是服从相关有色噪声的随机过程, 其表达如下

$$r(k) = r(k-1) + w(k)$$

其中 $w(k)$ 是具有零均值的高斯白噪声。假设各节点对间都建有一条直接 VP, 其路由如图 1 所示。各 VP 的初始连接请求均为 20 单位, 网络各链路的带宽约束 C_i 均为 60 单位, 缓冲区的容量为 6 单位。

现分别采用集中式和分散式的 VP 资源控制策略进行仿真。图 2 比较了集中式控制和分散控制的信元呼叫损失; 图 3 比较了简单反馈控制方案和优化分散控制方案的信元呼叫损失。图中实线表示集中控制的结果, 虚线表示优化的分散控制的结果, 点划线表示简单反馈控制的结果。

从图中可以看出,相对于集中控制方案,分散控制的性能有所下降,但下降得并不明显;而优化的分散控制相对简单反馈的分散控制在性能上有了显著的提高。这表明优化的分散控制是有效的,尽管它不能达到全局的最优化。

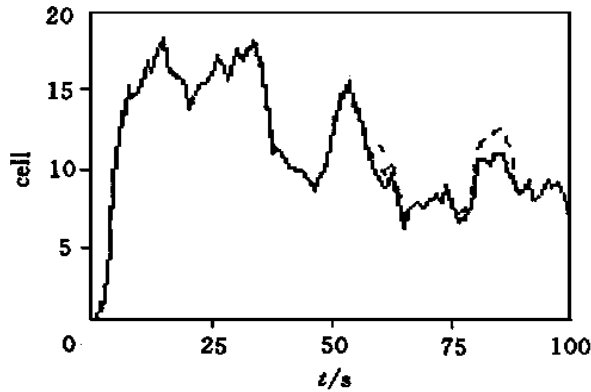


图2 分散控制和集中控制的比较

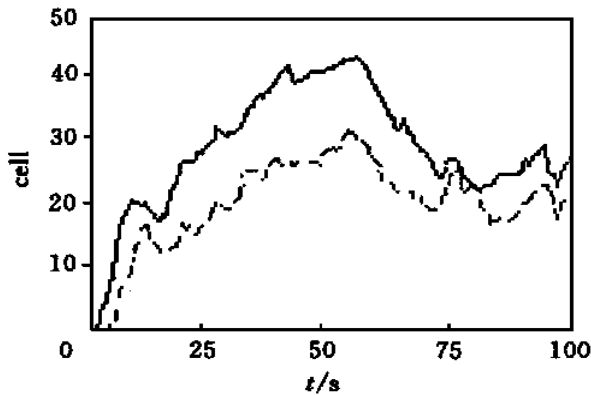


图3 两种分散控制方案的比较

6 结 语

在网络规模不断扩大的情况下,集中式的网络控制是难以实现的。分散的控制策略尽管不能保证全局最优,但其实用性强,易于实现,因此成为网络

控制的发展方向。本文提出的考虑优化的分散控制,在性能上明显高于采用简单反馈的分散控制。

参 考 文 献

- 1 Jean Yves Le Boudec. The asynchronous transfer mode: A tutorial. *Computer Network and ISDN Systems*, 1992, 24(3): 279 ~ 309
- 2 K Sato, S Ohta, I Tokizawa. Broad-band ATM network architecture based on virtual paths. *IEEE Trans on Commun*, 1990, 38(8): 1212 ~ 1222
- 3 V J Friesen, J J Harms, J W Wong. Resource management with virtual paths in ATM networks. *IEEE Network*, 1996, 12(5): 10 ~ 19
- 4 M Logothetis, S Shioda. Centralized virtual path bandwidth allocation scheme for ATM networks. *IEEE Trans on Commun*, 1992, B(10): 1071 ~ 1080
- 5 S Ohta, K Sato. Dynamic bandwidth control of the virtual path in an asynchronous transfer mode network. *IEEE Trans on Commun*, 1992, 40(7): 1239 ~ 1247
- 6 W M Moh, M J Chen, N M Chu *et al* . Traffic prediction and dynamic bandwidth allocation over ATM: A neural network approach. *Comp Commun*, 1995, 18(8): 563 ~ 574
- 7 于长官. 现代控制理论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1992. 229 ~ 238

作 者 简 介

韩 兵 男, 1958年生。上海交通大学自动化系副教授, 博士。研究领域为容错控制与故障诊断, 生产过程的建模与调度, 信息高速公路的建模。

曲润涛 男, 1973年生。上海交通大学自动化研究所博士研究生。主要研究方向为 ATM 网络的资源管理。

席裕庚 男, 1946年生。1968年毕业于哈尔滨军事工程学院, 1984年在德国慕尼黑工业大学获博士学位, 现为上海交通大学自动控制系教授, 博士生导师。主要从事复杂系统控制理论及智能机器人等的研究。