

文章编号: 1000-6893(2001)S0-0S67-03

CNS/ATM 网关系统性能分析

钟 青, 张其善

(北京航空航天大学 电子工程系, 北京 100083)

ANALYSIS OF PERFORMANCE FOR CNS/ATM GATEWAY SYSTEM

ZHONG Qing, ZHANG Qi-shan

(Department of Electronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

摘 要: 详细介绍了 CNS/ATM 网关系统性能分析方法。采用了嵌入式马尔可夫链模型分析 CNS/ATM 网关系统性能。通过计算机仿真, 具体分析了各种因素对 CNS/ATM 网关系统性能的影响。该分析表明, 可通过提高系统的信息处理强度和减少信息处理时间均方差来改善系统的性能。这对于系统设计和性能改善具有指导意义。

关键词: 排队服务系统; 嵌入式马尔可夫链; 网关

中图分类号: V355 **文献标识码:** A

Abstract: A method is proposed to analyze the performance for CNS/ATM gateway system. The method uses an imbedded Markov chain to analyze the system performance. Based on a computer simulation sample, the effect of many system factors on the system performance is analyzed. In order to improve the system performance, the information process intensity needs to be increased, and the information process time variance needs to be decreased.

Key words: queuing theory; imbedded Markov chain; gateway

安全、高效、一体化的空中交通服务系统是现代化空管系统追求的目标, 而现有的通信、导航、监视设备与新航行系统的通信导航监视/空中交通管理系统(CNS/ATM)的结合, 为一体化的空中交通管理系统奠定了基础。空中交通管理系统的地空间信息交换是空地一体化的关键。

CNS/ATM 网关系统实现了 VHF 数据链与空管系统之间的数据通信和信息交换。CNS/ATM 网关系统可有效地把地面信息处理网络与地空数据链融为一体, 有利于实现飞行自动相关监视(ADS), 改善空管部门的监视能力和通信能力, 为飞机飞行提供更大的安全性。这就要求网关系统对信息的处理迅速、及时。

本文利用嵌入式马尔可夫链模型分析了 CNS/ATM 网关系统的性能, 而这方面的分析研究还未见有文献报道。

1 建立系统模型

CNS/ATM 网关采用先进先出(FIFO)方式处理系统中的信息。

在 CNS/ATM 网关系统中, 将信息处理看作

服务, 将信息的到达看作输入, 从而构成排队服务系统。对系统作如下假设:

假设 1: 信息到达系统的时间间隔是相互独立的, 服从泊松分布;

假设 2: 系统处理信息的时间为一般分布;

假设 3: 信息到达系统的时间与信息处理时间是相互独立的;

假设 4: 每一时刻只能处理一条信息;

从以上假设可以看出, 系统构成了 $M/G/1$ 排队模型。

令: X_n 为第 n 条信息处理完的瞬间, 系统内留有的信息数; T_n 为第 n 条信息处理完的瞬间, 下一条(第 $n+1$ 条)信息所需的处理时间; Y_n 为在第 $n+1$ 条信息被处理期间, 新进入系统的信息数; X_{n+1} 为第 n 条信息处理完的瞬间, 留在系统内的信息数; t_n 为第 n 条信息处理完的时刻; t_{n+1} 为第 $n+1$ 条信息处理完的时刻。

可以得到

$$X_{n+1} = \begin{cases} Y_n & X_n = 0 \\ X_n + Y_n - 1 & X_n > 0 \end{cases} \quad (1)$$

那么 $\{X_n\}$ 构成一个马尔可夫链, 称其为嵌入式马尔可夫链^[1]。

$$\left. \begin{aligned} a_i &= P(Y_n = j) > 0 \\ p_{ij} &= P(X_{n+1} = j | X_n = i) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

则:

$$p_{0j} = P(X_{n+1} = j | X_n = 0) = P(Y_n = j) = a_j \quad (3)$$

将式(1)代入式(2)可得

$$p_{ij} = P(Y_n = j + 1 - X_n | X_n = i) = \begin{cases} 0 & i > j \\ a_{j+1-i} & i \leq j + 1 \end{cases} \quad (4)$$

则该马尔可夫链的一步转移矩阵为

$$P = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \cdots \\ a_0 & a_1 & a_2 & \cdots \\ & a_0 & a_1 & \cdots \\ & & a_0 & \cdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (5)$$

其状态转移图如图 1 所示。

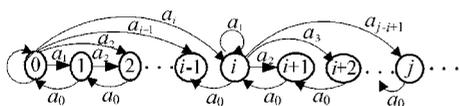


图 1 状态转移图

Fig. 1 State transition diagram

由于任意 2 个状态都互通, 并且对角线上的元素不为 0, 所以 $\{X_n\}$ 为一不可约、非周期的马尔可夫链^[2]。

2 系统性能分析

在 CNS/ATM 网关系统中, 信息处理的时延和系统中未处理的信息数是衡量系统性能的 2 个重要指标。下面对这 2 个指标作定量分析。

系统的信息处理时间 $\{T_n, n \geq 1\}$ 是独立且同分布的随机变量序列, 假设其公共分布函数为

$$G_t = P(T_n \leq t) \quad (6)$$

则

$$a_j = P(Y_n = j) = \int_0^\infty P(Y_n = j | T_n = t) dG(t) \quad (7)$$

其中: $P(Y_n = j | T_n = t)$ 表示在 $(0, t)$ 时间区间内新到达系统的信息数为 j 个的概率。由于信息的到达是按泊松流的, 其到达率为 K 所以有

$$P(Y_n = j | T_n = t) = \frac{(Kt)^j}{j!} e^{-Kt} \quad (8)$$

将式(8)代入式(7)可得

$$a_j = \int_0^\infty \frac{(Kt)^j}{j!} e^{-Kt} dG(t) \quad (9)$$

设系统的信息处理速率 $E[T_n] = L$, 令 $Q = KL$, 称

其为信息处理强度。

$$E[Y_n] = \sum_{j=0}^\infty j a_j = \int_0^\infty \sum_{j=0}^\infty \frac{(Kt)^j}{(j-1)!} e^{-Kt} dG(t) = K \int_0^\infty t dG(t) = KE[T_n] = Q \quad (10)$$

$$E[Y_n^2] = \sum_{j=0}^\infty j^2 a_j = \int_0^\infty \sum_{j=0}^\infty \frac{(Kt)^j}{(j-2)!} e^{-Kt} dG(t) = \int_0^\infty [Kt + (Kt)^2] dG(t) = KE[T_n] = Q + Q^2 + K^2 D[T_n] \quad (11)$$

$$D[Y_n] = E[Y_n^2] - (E[Y_n])^2 = Q + K^2 D[T_n] \quad (12)$$

当 $Q < 1$ 时, 该马尔可夫链是遍历的, 所以存在平稳分布^[1] $\{p_j, j \geq 0\}$ 。 $\{p_j\}$ 必满足^[1]

$$p_j = \sum_{i=0}^\infty p_i p_{ij} \quad j \geq 0 \quad (13)$$

令 $P(x) = \sum_{j=0}^\infty p_j x^j \quad (14)$

$$A(x) = \sum_{j=0}^\infty a_j x^j \quad (15)$$

将式(13), 式(15)代入式(14)可得

$$P(x) = \frac{A(x)}{x} [p_0 x + p_1 x + p_2 x^2 + p_3 x^3 + \dots] = \frac{A(x)}{x} [p_0(x-1) + P(x)] \quad (16)$$

由式(16)可得

$$P(x) = \frac{(1-x)p_0 A(x)}{A(x) - x} \quad (17)$$

由式(14)可得

$$P(1) = \sum_{j=0}^\infty p_j = 1 \quad (18)$$

由式(15)可得

$$A(1) = \sum_{j=0}^\infty a_j = 1 \quad (19)$$

$$E[Y_n] = \sum_{j=1}^\infty j a_j = A'(1) = Q \quad (20)$$

由罗必达法则可得^[1]

$$\lim_{x \rightarrow 1} P(x) = \frac{p_0}{1 - A(1)} = \frac{p_0}{1 - Q} = 1 \quad (21)$$

由式(21)可得

$$p_0 = 1 - Q \quad (22)$$

利用式(12), 式(20), 可得

$$D[Y_n] = A''(1) + A'(1) - [A'(1)]^2 = A''(1) + Q - Q^2 \quad (23)$$

由此可得

$$A''(1) = Q^2 + K^2 D[T_n] \quad (24)$$

设系统中待处理和正在处理的信息数的平均值为

L_s , 由式(14)可得

$$L_s = E[X_n] = P'(1) \quad (25)$$

对式(17)两次利用罗必达法则可得^[1]

$$L_s = Q + \frac{K D [T_n] + Q}{2(1 - Q)} = Q + \frac{Q R^2 + Q}{2(1 - Q)} \quad (26)$$

其中: 令 $R^2 = D [T_n]$ 表示信息处理时间的均方差。

由 Little 公式可得系统的信息处理时延

$$W_s = \frac{L_s}{K} \quad (27)$$

3 仿真结果

从式(26), 式(27)可以看出, 系统信息处理时延和系统中未处理的信息数, 受到系统信息处理率 L 、信息到达速率 K 和信息处理时间均方差 R^2 的影响。其仿真结果如图 2~图 4 所示。

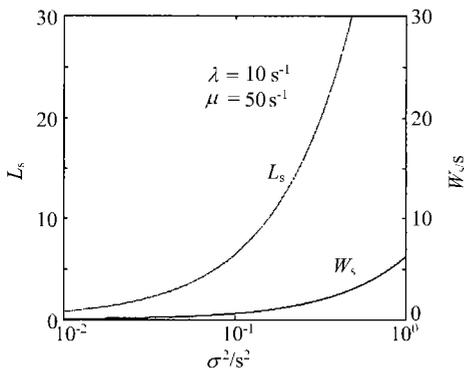


图 2 系统信息处理时间均方差 R^2 对系统信息处理时延 W_s 和系统中未处理信息数 L_s 的影响

Fig. 2 Relation between delay time of message operation, the number of unprocessed messages and information process time variance

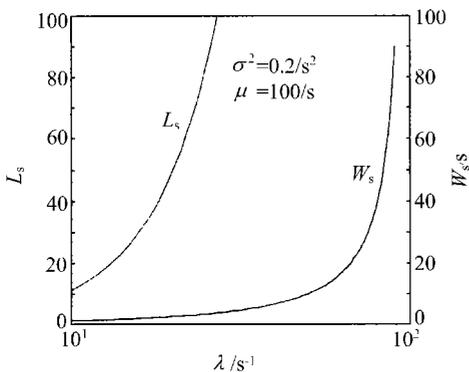


图 3 系统信息到达速率 K 对系统信息处理时延 W_s 和系统中未处理信息数 L_s 影响

Fig. 3 Relation between delay time of message operation, the number of unprocessed messages and message arrival rate

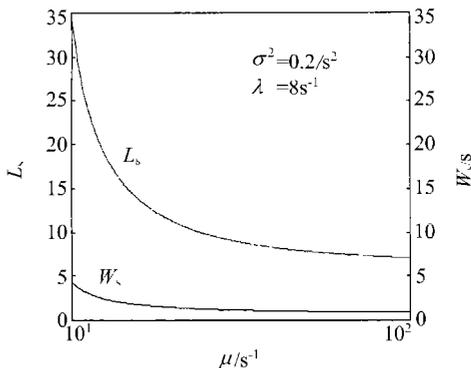


图 4 系统信息处理速率 L 对系统信息处理时延 W_s 和系统中未处理信息数 L_s 影响

Fig. 4 Relation between delay time of message operation, the number of unprocessed messages and information process rate

4 结论

从仿真结果可以看出, 系统信息处理时延和系统中未处理的信息数, 随着信息到达速率 K 的增长而增长, 同时也随着信息处理时间均方差 R^2 的增长而增长; 而随着系统信息处理率 L 的增长而减少。因此, 在系统信息处理强度一定的条件下, 可以通过降低信息处理时间均方差来减少系统信息处理时延和系统中未处理的信息数。

CNS/ATM 网关系统性能分析对系统设计具有指导作用。该结果已应用于中国民航 VHF 数据通信网网络监控中心。

参 考 文 献

[1] 陆传赉. 排队论[M]. 北京: 北京邮电学院出版社, 1994. 168- 174.
 [2] 徐光辉. 随机服务系统[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 46- 48.

作者简介:

钟青(1971-) 女, 1994年获清华大学精密仪器与机械学系工学学士学位, 1997年获中国空间技术研究院工学硕士学位, 现为北京航空航天大学电子工程系博士研究生。主要研究领域: 网络通信, 信息传输与处理, 空中交通管制。联系电话: (010) 82324206, (010) 62043026-627。E-mail: 2000zq@sina.com



张其善(1936-) 男, 浙江浦江人, 北京航空航天大学教授、博士生导师, 国家级有突出贡献的科学技术专家。中国电子学会会员、美国 IEEE 高级会员。主要从事信息传输与处理, GPS 等方面的研究。