

基于事件调度的飞机供油多队多台系统仿真

Simulation of muti-line and multi-server refueling fighter system based Event Scheduling

(空军工程大学) 顾毓施毅

GU Yu SHI Yi

摘要: 使用加油管道为战斗机供油是当前机场最为常用的补给方式, 研究如何增强补给效能对于快速提高保障力意义重大。从排队论的视角分析加油过程, 通过建立多队列多服务台的形式模型, 借助数字仿真手段, 基于事件调度策略, 开发了仿真程序并实际运行, 为实现系统优化与系统决策提供了科学依据。

关键词: 多队多台; 系统仿真; 事件调度法

中图分类号: TP15

文献标识码: A

Abstract: Pipeline is the primary approach used to refuel fighter in airport currently. Studying how to enhance the efficiency is significant to increase the logistics ability. The paper analyzes the process of refueling by queue theory, establishes the multi-line and multi-server model and explores the programme based on Event Scheduling by digital simulation. The software can provide scientific foundation for achieving system optimization and decision.

Key words: multi-line and multi-server; system simulation; Event Scheduling

合理组织飞行油料供给以实现保障运转的高效, 以及精确度量机场加油设施的建设规模, 一直是难以解决的问题。面对历史积累的繁杂数据加上保障强度空前提高, 单靠传统的统计分析方法已难以对当前飞行供油保障的规律进行准确分析。由于数字仿真技术可以对系统模型进行试验, 具备了再现复杂现实并进行指标运算的能力, 非常适用于本问题的解决。

现在中小型飞机多使用管道加油, 此类系统的主要特点是加油平台服务能力强, 性能稳定。以往在研究的过程中一般将其视为经典的单队列多服务台排队系统, 系统模型较为简单。但由于军用飞机油料保障对加油时间和效率的独特要求, 现考虑将该排队系统视为多队多台特性加以研究, 即增加飞机在等待过程中的换队规则, 考察系统性能是否会发生变化。

1 飞机加油模型

1.1 描述变量

在机场加油保障中, 飞机为单机依次降落(绝不存在多机同时降落的情况), 降落后自滑行至中央停机坪, 在某个泊机位前加入等待队列, 等候接受管道加油, 加油完毕后, 若不需进行其他专业保障, 飞机驶离泊机位, 该过程属于典型的排队过程。管道加油模型描述变量包括: 飞机到达时间间隔(ARRIVETIME), 离下一架飞机到达所剩的时间(ARRIVETIME.REMAIN), i 个等待队列(LINE₁, LINE₂...LINE _{i}), 飞机加油时间(FUELTIME), 正在加油飞机离完成加油所剩时间(FUELTIME.REMAIN)。飞机换队是一个纯条件事件, 仅在 FUELTIME.REMAIN=0 时发生, 所以可以把它看作一个子事件, 而不另设描述变量。

1.2 随机变量生成

ARRIVETIME 和 FUELTIME 是两个随机变量, 其生成过程

是由两个串行的子过程所构成: 第一过程是产生[0,1]均匀分布的伪随机数 r , 每当仿真程序要求采样随机变量时就调用这个程序, r 的状态转移函数为 $\xi: [0,1] \rightarrow [0,1]$; 第二过程是通过建立一个分布函数, 以[0,1]随机数为输入条件, 生成随机变量所要求的样本。经过数据采集发现, 在较为理想的情况下, 飞机的到达间隔曲线 ARRIVETIME 可很好地拟合为指数分布; 且由于每次保障均为同一机种, 单机所需油料大致相同, 可认为加油时间 FUELTIME 服从带偏的正态分布。以上两种随机变量根据保障任务的不同, 其均值为不同的常量。

1.3 模型的形式描述

ARRIVETIME 的典型值为 r_1 , ARRIVETIME.REMAIN 的典型值为 $(x_1, r_1), (x_2, r_2) \dots (x_n, r_n)$, LINE₁...LINE _{i} 的典型值分别为 $(Y_{11}, Y_{12} \dots Y_{1n}) \dots (Y_{i1}, Y_{i2} \dots Y_{in})$, FUELTIME 的典型值为 r_2 , FUELTIME.REMAIN 的典型值为 $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_i$ 。典型的全局状态可表示如下:

$$Z = \begin{bmatrix} r_1 & (x_1, r_1) & (Y_{11}, \sigma_1) \dots (Y_{i1}, \sigma_i) & r_2 \\ & (x_2, r_2) & Y_{12} \dots Y_{i2} & \\ & \dots & \dots & \\ & (x_n, r_n) & Y_{1n} \dots Y_{in} & \end{bmatrix}$$

这个全局状态描述了以下情况: 有 n 架飞机 $(x_1, x_2 \dots x_n)$ 将要着陆, 他们着陆的时间间隔可表示为 $(r_1, r_2), (r_2, r_3) \dots (r_n, r_n)$ 。停机坪有 i 个加油管道口, 每个管道口前有正在排队的飞机队列 $(Y_{i1}, Y_{i2} \dots Y_{in})$, 飞机 Y_{i1} 将在 σ_i 时间内完成加油, 下次采样时间 ARRIVETIME.SEED 和 FUELINGTIME.SEED 分别由随机数种子 r_1 和 r_2 确定。

因为 Z 是某一状态变量集, 只要知道模型在时间 t_k 下的状态 Z , 就应能够计算下次策划时间, 令 $\sigma_k = \min\{\sigma_1 \dots \sigma_i\}$,

$$\text{则 } t_{i+1} = \begin{cases} t_k + \sigma_k, & \text{若 } \sigma_k \leq \min\{\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n\} (1) \\ t_k + \min\{\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n\}, & \text{若 } \sigma_k \leq \min\{\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n\} (2) \end{cases}$$

顾毓: 在读博士研究生

基金项目: 空军后勤部(编号不公开)

情况(1): 由于 σ_k 小于所有的 τ_i , 所以发生的下一策划事件就是飞机离去事件, 即, 具备离开条件的 Y_k 应该离开队列, 若队列中还存在其它飞机, FUELINGTIME.REMAIN 的时标应该重新预置到 FUELINGTIME(τ_2), 设 Z_1 是 t_{k+1} 时刻发生飞机离去事件后的状态, 它可表示为:

$$\text{当 } m=1 \text{ 时, } Z_1 = \begin{bmatrix} \tau_1 & (x_1, \tau_1 - \sigma_k) & (Y_1, \sigma_1 - \sigma_k) \dots (Y_1, \sigma_1 - \sigma_k) & \xi(\tau_2) \\ (x_2, \tau_2 - \sigma_k) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (x_n, \tau_n - \sigma_k) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \end{bmatrix}, m \geq 2 \text{ 时}$$

$$Z_1 = \begin{bmatrix} \tau_1 & (x_1, \tau_1 - \sigma_k) & (Y_1, \sigma_1 - \sigma_k) \dots (Y_k, \text{FUELTIME}(\tau_2)) \dots (Y_1, \sigma_1 - \sigma_k) & \xi(\tau_2) \\ (x_2, \tau_2 - \sigma_k) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (x_n, \tau_n - \sigma_k) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \end{bmatrix}$$

情况(2): 由于最小的 $\tau_i < \sigma_k$, 肯定有一架飞机 q 将立即到达, 这样 $\tau_q = \min\{\tau_1, \dots, \tau_n\}$, 可以令 q 加入 Y_k 队列, 则飞机 q 到达后系统的状态转移至 Z_2 .

$$Z_2 = \begin{bmatrix} \tau_1 & (x_1, \tau_1 - \tau_q) & (Y_1, \sigma_1 - \tau_q) \dots (Y_k, \sigma_k - \tau_q) \dots (Y_1, \sigma_1 - \tau_q) & \tau_2 \\ (x_2, \tau_2 - \tau_q) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (x_n, \tau_n - \tau_q) & Y_1 \dots Y_k \dots Y_1 \end{bmatrix}$$

这里不再详细列出换队时系统状态的形式表述, 因为: 换队并不会引起系统内飞机数量的变化, 当发生换队时, 对有的管道来说, 其队列长度在原来基础上加 1, 同时有的管道前队列长度减 1, 其状态较容易在矩阵列里表示出来。

2 仿真策略

本系统中只有两类主动随机事件: 飞机着陆和飞机离开, 逻辑较为简单。因此, 比较适宜采用事件调度法驱动仿真执行。仿真过程中生成的所有事件通过其发生时间与仿真时钟相关联, 仿真时钟以事件步长法向前推进。事件步长法是以事件发生的时间为增量, 每发生一个事件, 时间推进一个步长, 按照时间的进展, 一步一步地对系统的行为进行仿真, 直至仿真结束。时钟推进是基于对事件表的不断操作。首先在事件表中确定在当前时钟 TIME 下发生的事件类型 E_i , 并按设定的解结规则排序。其 PDL 描述如下

```
While TIME ≤ tn, do
case Ei of: i=1: operate PLANEARRIVE, update FEL;
i=2: operate PLANEDEPART, update FEL;
default; endcase
while Min(t(Ej)), set TIME = Min(t(Ej))
endwhile;
```

3 系统事件处理子程序

3.1 飞机到达子程序

根据系统的形式描述模型, 当某一预定飞机到达事件发生时, 首先要将记录当前事件的变量 CURRENT 更新为该事件发生时间 ARRIVETIME 的值。随后, 进行系统状态调整。在进行多服务台状态检测后, 若有空闲服务台, 按照编号优先权选择加油口, 进入加油状态, 置加油口为 BUSY。若无空闲服务台, 则按照编号优先权选择加入最短加油队列, 修改队列长度。到达事件调度中将生成两个未来事件, 一是指数分布随机数队列中选出下一飞机到达时间, 二是按照该事件中 DEPARTTIME = ARRIVETIME + FUELTIME 规则计算飞机离开时间, 将这两个时间放入未来事件表 FEL。图 1 表示了飞机到达子程序的处理流程。

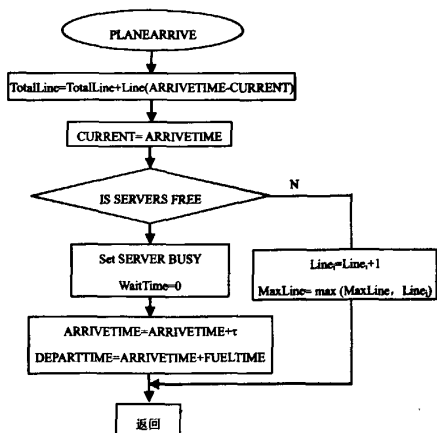


图 1 飞机到达事件算法

3.2 飞机离开子程序

同到达子程序一样, 离开子程序也要在执行伊始进行 CURRENT 的更新, 以标识当前系统推进时间。作为多队多列系统, 该子程序的执行较为复杂。当一架飞机离开时, 首先要进行当前队列长度检测, 若当前队列长度 LINE_i 不为 0, 则为队列中的第一架飞机, 调用第二组正态分布随机数队列中的 FUELTIME 值作为该机的加油时延, 同时置该队长度 LINE_i = LINE_i - 1。如果 LINE_i 为 0, 则将置管道口 FREE。其次, 判断是否满足飞机换队条件。

针对飞机加油系统特点, 这样定义飞机换队规则: 若某一时刻第 i 号管道队列中飞机数量为 n_i 且 $n_i > n_j + 3$, 则第 j 队末尾的飞机换到第 i 队末尾排队, 如果有多个管道前的队列满足该条件, 则选择编号最小的队列执行换队。在实际保障中, 系统是服从单队列特性的, 因为出于安全考虑, 飞机一般固定在某一机位而不会轻易转换队列。但在系统分析时, 为了全面地考察系统性能, 我们可以先进行队列划分, 基于多队多台模型编制仿真程序, 在输出的保障过程详表中观察各飞机的排队细节, 从而找到为飞机安排初始队列的规律。由于换队现象只有在飞机离开事件发生时才存在, 所以将其视为纯条件事件, 作为飞机离开事件的一部分出现。换队事件的执行时首先要修改换出队列的长度属性 LINE_j = LINE_j - 1, 对于换入队列而言, 其状态变化等同于一个飞机到达事件, 从本质上讲, 飞机入队和飞机到达是一致的。

本架飞机离开后如果该队列中有排队飞机或立刻发生了换队事件, 则生成该后续飞机的离去时间 DEPARTTIME 放入 FEL。图 2 显示了飞机离开的处理算法。

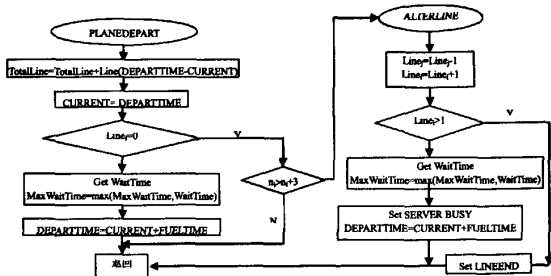


图 2 飞机离开事件算法

3.3 输出指标
可以通过观察飞机最大与平均等待时间、最大与平均等待队长这四项指标,评价本系统的运行性能。

(1) 最大等待时间 $MaxWaitTime = \max (WaitTime_i)$ 。变量 $MaxWaitTime$ 的初始值为 0, 其值在飞机离开事件发生时被更新, 更新值是程序执行中生成的 $WaitTime$ 当前值与原始值中的较大者。

(2) 平均等待时间 $AveWaitTime = \frac{\sum_{i=1}^n WaitTime_i}{n}$ 。飞机离开时计算后续飞机的等待时间 $WaitTime$, 在程序中设置变量 $TotalWaitTime$ 记录所有飞机等待时间的总和, 仿真运行结束计算其均值。

(3) 最大等待队长 $MaxWaitLine = \max (Line_i)$ 。该变量值来自于对仿真全程的 i 个队列长度最大值分析, 计算过程类似于 $MaxWaitTime$, 但 $Line_i$ 的值是在飞机到达时采集, 因为只有这时队列长度才有可能增加。

(4) 平均等待队长 $AveWaitLine = \frac{\sum_{i=1}^n (Time_{i+1} - Time_i) \times Line_i}{TotalTime}$ 。假设有 k 个管道口, $Time_{i+1} - Time_i$ 表示了事件表 FEL 中两个相邻事件的时间差, $Line_i$ 为 $Time_i$ 时刻的某一队列的初始队长。

由于在设计过程中赋予了飞机实际上并不存在的换队权限, 所以通过程序运行考察等待队长的意义不是很大, 等待时间就成为衡量系统优劣的关键。

4 算例

某机场即将兴建一组加油管道口, 预定建成后管口流速 1800 升/分, 场均大约保障 26 架飞机, 飞机主油箱容量 10000 升, 预计一次飞行单机消耗 8000 升, 到达间隔期望值为 60 秒。将以上初始数据录入仿真系统, 经计算后的一组指标值如下:

表 1 系统性能评价指标

指标 数量	最大队长	最大时间	平均队长	平均时间
5	8	10.22	6.21	7.20
6	8	8.78	5.99	6.11
7	6	5.39	3.87	3.88
8	4	4.24	2.59	2.21

经结果分析发现, 建 5-6 个管道口不能满足保障要求, 建 8 个管道口造价较高, 不够经济, 建 7 个管道口时输出的各项性能指标较合乎要求。因为仿真初始数据已取到加油需求极限值, 所以, 该机场改造工程中应兴建 7 个管道口。

5 创新点

服务台是排队系统中特性最为活跃与复杂的建模要素。本文在建模过程中通过编制飞机换队算法, 很好地补充了文献[3]所建立的飞机供油单队多台模型, 使得对服务台服务特点的分析更为灵活与全面。在建模过程中, 将纯条件事件视为主动事件的一个模块, 为程序设计提供了便利条件。

6 结论

仿真结果也通过了固定样本法和序贯法验证(文中略), 表明将仿真软件应用于优化加油保障是可行的, 该研究具有一定的现实意义。

参考文献

[1]王维平.离散事件系统建模与仿真[M].长沙:国防科技大学出版社,1997.
[2]何勇.面向决策过程的建模支持理论与方法的研究[D].武汉:华

中理工大学,1995.
[3]施毅,陆廷金.飞机加油多服务台排队系统模型仿真分析[J].微计算机信息.2006,3(1):265-268.
[4]屠仁寿,李伯虎.当前仿真方法学发展中的若干问题[J].系统仿真学报,1998,10(1):8-13.
[5]赵晨光.利用排队论探讨多层拦截巡航导弹的问题[J].系统工程与电子技术,2003,25(2):177-178.
作者简介:顾毓(1977-),女(汉族),江苏泰兴人,空军工程大学工程学院在读博士研究生,主要从事信息系统工程与智能决策研究。
Biography:GU Yu (1977-),Female(han ethnic),TaiXin JiangSu province, Engineering College,Air Force Engineering University, PH.D,speciality of information system engineering and intelligent decision .
(710038 陕西 西安 空军工程大学工程学院航空装备管理工程系)顾毓
(Department of Equipment Administration, Engineering College, Air Force Engineering University,Xi'an 710038,China)GU Yu
通讯地址:(710038 空军工程大学工程学院航空装备管理工程系 陕西西安)顾毓

(收稿日期:2008.07.13)(修稿日期:2008.08.25)

(上接第 285 页)

[5]Xue D,and Atherton D P, Simulation analysis of continuous systems deiven by Gaussian white noise,in Jamshidi M,and Herget C J (eds.),Recent advances in computer-aided control systems engineering,Elsevier Science Publises B V,431-452,1992.
[6]Rosenbrock H H.Computer aided control system design.London: Academic Press,1973.

作者简介:魏静敏(1979-),女,汉族,辽宁省鞍山市人,硕士研究生,单位为沈阳理工大学应用技术学院,讲师,主要研究方向为系统工程,控制工程;刘英英(1980-),女,汉族,辽宁省葫芦岛市人,东北大学博士研究生,单位为沈阳理工大学应用技术学院,讲师,主要研究方向为控制理论与控制工程;金亚玲(1978-),女,汉族,辽宁省沈阳市人,硕士研究生,单位为沈阳理工大学应用技术学院,讲师,主要研究方向为主要研究方向为控制理论与控制工程;刘欢杰(1979-),男,汉族,河南省郑州市人,硕士研究生,单位为东软集团有限公司,软件工程师。主要研究方向为网络,计算机控制。


Biography:WEI Jing-min (1979-),female, the Han nationality, Liaoning, information Department Polytechnic school of Shenyang Ligong University, instrudtor, research area: systems engineering, control engineer.

(113122 抚顺 沈阳理工大学应用技术学院信息系)魏静敏
刘英英 金亚玲
(110179 沈阳 东软集团有限公司) 刘欢杰
(Information Department Polytechnic school of Shenyang Ligong University Fushun 113122 China)WEI Jing-min
LIU Ying-ying JIN Ya-ling
(Neusoft Group Ltd. Shenyang 110179 China)
LIU Huan-jie

通讯地址:(113122 辽宁省抚顺市经济技术开发区顺大街北段 4 号 沈阳理工大学应用技术学院信息系)魏静敏

(收稿日期:2008.07.13)(修稿日期:2008.08.25)

基于事件调度的飞机供油多队多台系统仿真

作者: [GU Yu](#), [施毅](#), [GU Yu](#), [SHI Yi](#)
作者单位: [西安, 空军工程大学工程学院航空装备管理工程系, 陕西, 710038](#)
刊名: [微计算机信息](#) 
英文刊名: [CONTROL & AUTOMATION](#)
年, 卷(期): 2008, 24(25)
被引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [王维平](#) [离散事件系统建模与仿真](#) 1997
2. [何勇](#) [面向决策过程的建模支持理论与方法的研究](#)[学位论文] 1995
3. [施毅](#), [陆廷金](#) [飞机加油多服务台排队系统模型仿真分析](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2006(01)
4. [屠仁寿](#), [李伯虎](#) [当前仿真方法学发展中的若干问题](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 1998(01)
5. [赵晨光](#) [利用排队论探讨多层拦截巡航导弹的问题](#)[期刊论文]-[系统工程与电子技术](#) 2003(02)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjsjxx200825111.aspx

授权使用: 四川理工学院(sclgxy), 授权号: 227c5a82-7aa9-4d29-8721-9dd5013f4fcf

下载时间: 2010年8月17日