

УДК 658.011.56:075

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ АЭРОПОРТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ

© 2009 Д.Г. Вольсков, Г.Л.Ривин

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 20.07.2009

В статье авторы рассматривают модель полета воздушных судов к аэропорту в программе Blender, которая позволяет спрогнозировать ситуации и подсказать авиадиспетчеру те или иные возможные действия по управлению воздушным судном. Авторы используют теорию массового обслуживания, на основе которой формируют результаты исследований явлений, возникающих в системах обслуживания воздушного судна.

Ключевые слова: модель полета, воздушные суда, аэропорт, теория массового обслуживания.

С помощью визуализации можно смоделировать любую ситуацию работы линейного технического обслуживания (ТО) в аэропорту (рис. 1). Работа линейного технического обслуживания заключается в следующем: встретить и отправить в полет летательные аппараты (ЛА), обеспечить заправку ГСМ, устранить мелкие неисправности, а также оказывать услуги другим авиакомпаниям.

Рассматриваемая модель полёта воздушных судов к аэропорту в программе Blender позволяет спрогнозировать ситуации и подсказать авиадиспетчеру те или иные возможные действия по управлению воздушным движением, обеспечить получение количественных оценок работы (параметры задержки воздушных судов, время ожидания, время работы аэропорта в режиме перегрузки и т.д.) в заданных пользователем условиях. С помощью анимации имитационное моделирование позволяет также проводить качественный (экспертный) анализ работы аэропорта (рис. 2). Визуальное в динамике представление результатов моделирования позволяет с нужной степенью детализации продемонстрировать пользователю процессы, происходящие в аэропорту в заданных условиях, установить причины возникновения тех или иных ситуаций, а также оценить адекватность модели.

Для каждого воздушного судна при его появлении в системе и до вылета проводится анализ всей воздушной обстановки. Модель процесса полёта состоит в пересечении воздушным судном определённых контрольных точек, в которых при-

нимается решение об изменении курса и скорости (с учетом возможных изменений). При передвижении учитывается необходимость соблюдения определенной дистанции между воздушными судами. Следовательно, воздушное судно должно изменять свою скорость и траекторию полёта так, чтобы не нарушить интервал движения. Имея информацию обо всех воздушных судах, система ЛА вычисляет необходимость пребывания в зону ожидания или возможность посадки. Учитывается направления прилёта ЛА, которое влияет на формирование процедуры входа в зону ожидания.

Зональная навигация предполагает применение современных систем самолетовождения и спутниковых навигационных систем с целью выполнения полета без использования наземных средств передачи навигационных данных. Это позволяет на три-четыре километра сократить расстояние, пролетаемое каждым самолетом с момента отрыва и до выхода из зоны аэропорта. Если предположить, что ежедневно выполняются 700 вылетов, экономия на сокращении расхода топлива оказывается значительной (рис 3).

Задачами теории массового обслуживания являются анализ и исследование явлений, возникающих в системах обслуживания. Основная задача теории заключается в определении таких характеристик системы, которые обеспечивают заданное качество функционирования, например, минимум времени ожидания, минимум средней длины очереди и т.д.

Время обслуживания – одна из важнейших характеристик, обслуживающих аппаратов (приборов), определяющая пропускную способность системы.

В теории массового обслуживания время обслуживания $t_{обс}$ предполагается случайной вели-

Вольсков Дмитрий Геннадьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры "Самолетостроение". E-mail: aviafil@tv.ru.

Ривин Георгий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры "Самолетостроение".



Рис. 1. Общая схема аэропорта

чиной. Причиной этого может быть нестабильность работы приборов, различия параметров, поступающих в систему требований.

Случайная величина $t_{обс}$ полностью характеризуется законом распределения

$$F(t) = P(t_{обс} < t)$$

Этот закон определяется путем статистических испытаний. В практике чаще всего исходят из гипотезы о показательном законе распределения обслуживания:

$$F(t) = 1 - e^{-mt},$$

где $m = 1/t_{обс}$ – интенсивность обслуживания, а $t_{обс}$ – математическое ожидание времени обслуживания.

Приведем пример обеспечения заправки ГСМ в аэропорту.

Имеется n бригад по заправке ГСМ m видов

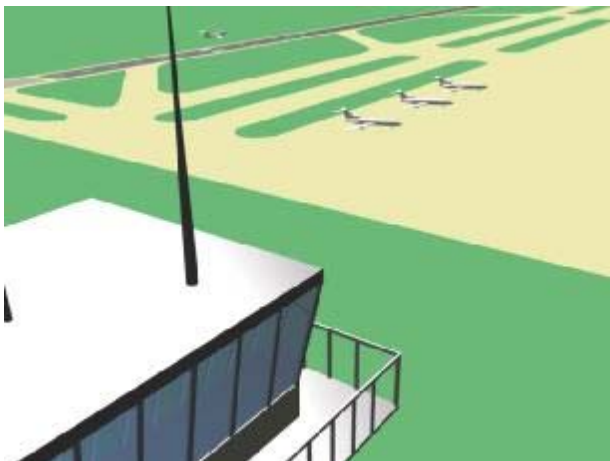


Рис. 2. Модель аэропорта

летательных аппаратов, распределенных по различным бригадам. Заправка ГСМ организована силами подвижных бригад, которые могут быть направлены к тому самолету, где есть необходимость в заправке. Суммарное время, необходимое для заправки $t_з$ будет состоять из времени $t_{выз}$, требуемого для вызова бригады; ее движения к месту заправки $t_{дв}$; времени осмотра $t_{осм}$ и собственно заправки $t_{зап}$. Полагаем, что время обслуживания – случайная величина с показательным законом распределения и параметром m , где $m = 1/t_з$.

Для решения определим параметр $f=1/m$.

Среднее число самолетов, ожидающих заправки

$$M_{ож} = \sum_{k=4}^{10} (k - n)P_k.$$

Отсюда средний процент техники, ожидающей заправки в очереди

$$K_{ПТР} = \frac{M_{ож}}{m} \cdot 100\%;$$

коэффициент простоя ЛА

$$K_{П} = \frac{N_o}{n} \cdot 100\%.$$

Среднее число ЛА, находящихся на заправке и в очереди,

$$M = \sum_{k=0}^{10} kP_k.$$

Коэффициент простоя техники

$$k = \frac{M}{m} \cdot 100\%.$$

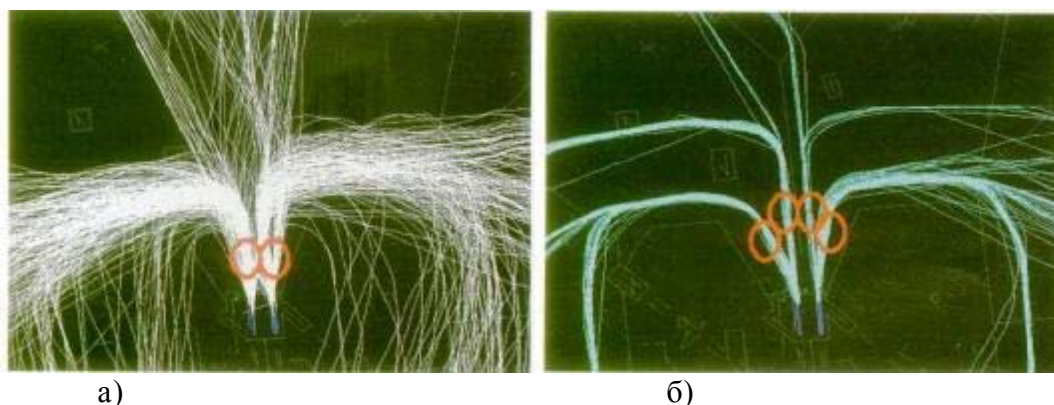


Рис. 3. Процедуры вылета с использованием а - без оптимизации траектории вылета, б – с оптимизацией траектории вылета, что увеличивает число коридоров с двух (обведены кружками) до четырех

Далее на основе теории массового обслуживания, проанализируем ситуацию по устранению мелких отказов и неисправностей ЛА. Пусть служба линейного технического обслуживания ЛА имеет n опытных бригад мастеров. В течение рабочей недели от администрации аэропорта поступает заказ на ремонт 1 ЛА. Общее число ЛА, находящихся в эксплуатации авиакомпаний очень велико, а выходят они из строя (имеют мелкие дефекты) независимо друг от друга. Поэтому имеются основания считать поток заявок пуассоновским. Пусть все бригады мастеров имеют одинаковую квалификацию и в среднем могут отремонтировать k ЛА в день каждая. Определим показатели качества обслуживания в данном аэропорту.

1. Вероятность того, что все бригады мастеров свободны от ремонта ЛА, равна

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\psi^k}{k!} + \frac{\psi^n}{n! \left(1 - \frac{\psi}{n}\right)}}.$$

2. Вероятность того, что все бригады заняты ремонтом

$$\pi = \frac{\psi^n P_0}{n! \left(1 - \frac{\psi}{n}\right)}.$$

3. Среднее время обслуживания каждого ЛА

$$t_{обс} = \frac{7}{\mu}.$$

4. Среднее время ожидания

$$t_{ожс} = \pi \frac{t_{обс}}{n - \psi}.$$

5. Средняя длина очереди

$$M_{ожс} = \frac{\pi \psi}{n \left(1 - \frac{\psi}{n}\right)^2}.$$

6. Среднее число ЛА, находящихся в службе технического обслуживания

$$M = M_{ожс} + P_0 \sum_{k=1}^n k \cdot \frac{\psi^k}{k!}.$$

7. Среднее число бригад, свободных от работы

$$N_o = P_0 \sum_{k=0}^{n-1} (n - k) \frac{\psi^k}{k!}.$$

Таким образом, подставляя конкретные значения в данные формулы можно определить показатели качество обслуживания любого аэропорта.

А теперь смоделируем работу линейного технического обслуживания (ТО) аэропорта в программе GPSS World Student Version. Предположим, что компания аэропорта нанимает одного мастера, для ремонта ЛА и осуществляет сервисное обслуживание заказчиков, а также делает ремонт “по прибытию”. Ремонт арендованных самолетов, начинается каждые 40 ± 8 часов, работа завершается через каждые 10 ± 1 часов. Ремонт “по прибытию”: замена масла, настройка и корректировка выполняются немедленно. Заказы прибывают каждый 90 ± 10 минут и на данный ремонт уходит 15 ± 5 минут. Заказчики, требующие полного обслуживания, прибывают каждый 5 ± 1 час и требуют ремонта 120 ± 30 минут. Полное обслуживание имеет более высокий приоритет, чем ремонт арендованных самолетов.

Итак, нам нужно определить:

1. Работу мастера в течение 50 дней.

2. Определить загруженность мастера и задержки в обслуживании заказчиков.

Модель представлена в табл. 1.

```

* Модель Работы мастера *
*****
* Ремонт арендованных самолетов, выполняются каждую неделю *
* Модуль Времени - одна минута *
*****
GENERATE 2400,480,,,1 ;Ремонт арендованных самолетов
QUEUE Overhaul ; Очередь для обслуживания
QUEUE Alljobs ; Сбор общей статистики
SEIZE Maintenance ;получен заказ на ремонт
DEPART Overhaul ;Заказчик уходит из очереди
DEPART Alljobs ; Сбор общей статистики
ADVANCE 600,60 ;Полная работа 10+/-1 часов
RELEASE Maintenance ; Мастер освобожден
TERMINATE ;Удаление одной транзакции
*****
* Ремонт "по прибытии"
GENERATE 90,10,,,3 ;Ремонт "по прибытию"
QUEUE Spot ; Очередь для ремонта "по прибытию"
QUEUE Alljobs ;Сбор статистики
PREEMPT Maintenance,PR ;Получение заказа
DEPART Spot ;Уход из очереди ремонта "по прибытию"
DEPART Alljobs ;Сбор статистики
ADVANCE 15,5 ;Время настройки/плавкие элементы/недостатки
RETURN Maintenance ;Освобождает мастера
TERMINATE
*****
* Сложный ремонт для заказчика
GENERATE 300,60,,,2 ;Сложный ремонт самолета
QUEUE Service ; Очередь для обслуживания
QUEUE Alljobs ;Сбор статистики
PREEMPT Maintenance,PR ;Занимает мастера по обслуживанию
DEPART Service ;Уход из сервисной очереди
DEPART Alljobs ;Сбор статистики
ADVANCE 120,30 ;Сервисное время
RETURN Maintenance ;Освобождает мастера
TERMINATE
*****
GENERATE 480 ;Один 8 часовой рабочий день
TERMINATE 1
* Счет дней
*****
* Таблицы статистической очереди
Overhaul QTABLE Overhaul,10,10,20
Spot QTABLE Spot,10,10,20
Service QTABLE Service,10,10,20
Alljobs QTABLE Alljobs,10,10,20
*****
!

```

Данная программа моделирует работу мастера в течение 50 дней. В результате получаем следующее: мастер был полностью занят на 78 %; среднее время ожидания для ремонта арендованных самолетов 25 дней и 51 день для полного сервисного обслуживания. Не было никакой задержки в работе “по прибытию”. Среднее время ожидания для работ “по прибытию” приблизительно 12 минут.

Смоделируем вторую ситуацию с помощью GPSS World Student Version. На складе имеется три вида топлива: а) керосин б) бензин и с) дизельное топливо для транспортных средств обслуживания. Для каждого вида топлива имеется свой насос, и запрос обрабатывается для каждо-

го вида отдельно. Заказы топлива изменяются от 3000 до 5000 галлонов, в приращении 10 галлонов их распределенных равномерно. Функция исследования – время, требуемое, для заправки.

1. Производительность работы каждого насоса 6, 5 и 7 минут на 1000 галлонов соответственно.

2. Число транспортных средств постоянно (время заправки 30 секунд на транспортное средство).

3. Фиксированное время заправки топливного грузовика две минуты.

На складе может задерживаться максимум двенадцать грузовиков. Среднее время прибытия грузовиков – 18 минут и их

Частота .20 .40 .25 .15
 Средний коэффициент обслуживания .45 .60
 1.5 2.0

Наша задача

1. Смоделировать работу склада ГСМ в течение 5 дней, если число транспортных средств постоянно.

2. Найти среднее время заправки топливного грузовика.

3. Какое общее количество топлива продается ежедневно?

* Нефтехранилище

* Модуль Времени - Одна Минута

Модель представлена в табл. 2.

В результате расчета были получены следующие значения: среднее время заправки грузовика 35 минут, стандартное отклонение приблизительно 14 минут; количество ежедневной продажи горючего = 109490 галлонов.

Преимуществом имитационных моделей является возможность подмены процесса смены событий в исследуемой системе в реальном масштабе времени на ускоренный процесс смены

событий в темпе работы программы. В результате за несколько минут можно воспроизвести работу **аэропорта на основе системы массового обслуживания** в течение определенного времени, что дает возможность оценить работу в широком диапазоне варьируемых параметров.

Проводя анализ моделирования однотипных ситуаций с помощью 3D графики Blender и языка моделирования GPSS World Student Version, можно отметить следующее:

1. Наглядность происходящих процессов в аэропорту хорошо представлена в программе Blender. Управления камерами в данной программе позволяет рассматривать происходящие процессы с разных углов: с диспетчерской вышки, окна администрации, с пассажирского зала и т.д.

2. Время моделирования 3D графики на персональном компьютере значительно больше, чем в языке GPSS World Student Version.

3. Отчет по расчетным формулам в программе Blender и отчет в языке GPSS World Student Version совпадают.

Таблица 2.

```

*****
RMULT 5631,39941
Arg FUNCTION RN2,C5 ; частота поступлений
0,0/0.2, .45/.6,1/.85,1.5/1.0,2
Pumprate FUNCTION P$Type,L3 ; минимальные значения, чтобы перекачать 1000
галлонов
1,6/2,5/3,7
Gals VARIABLE (RN1@201+300)#10
Type VARIABLE RN1@3+1
Pump VARIABLE (FN$Pumprate#P$Gals)/1000+S$Depot/2+2
Depot STORAGE 12 ;Максимальный участок памяти для 12 топливных
грузовиков
Transit TABLE M1,10,10,20 ;Время работы топливных грузовиков
Qty TABLE X$Gals,20000,20000,9 ;Количество нефти в данный день
*****
GENERATE 18,FN$Arg ;Приезд топливного грузовика
ASSIGN Gals,V$Gals ;P$Gals=количеству галлонов
ASSIGN Type,V$Type ;P$Type=тип горючего
ENTER Depot ;топливный грузовик приезжает в нефтехранилище
QUEUE P$Type ;Очередь по типу горючего
SEIZE P$Type ;Работает насос
DEPART P$Type ;Очередь продвигается на одного
ADVANCE V$Pump ;Сервисное время работы насоса
RELEASE P$Type ;Освобождает насос
LEAVE Depot ; Топливный грузовик уезжает из нефтехранилища
SAVEVALUE Gals+,P$Gals ;Счетчик остановлен. Галлон топлива продан
TABULATE Transit ;Таблица текущего времени
TERMINATE ;Грузовик уезжает
*****
GENERATE 480 ;Время заправки в один день
TABULATE Qty ;Записи нет. Галлон топлива продан
SAVEVALUE Sold+,X$Gals ;Запись общей продажи топлива
SAVEVALUE Gals,0 ;Обнуление продажи
TERMINATE 1 ;Один день прошел
*****
!
    
```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хьюз Д. Оптимальные траектории вылета // Авиа-транспортное обозрение – 2006 – №69 (65)
2. Зверева П. Бранденбургские ворота Берлина // Авиа-транспортное обозрение – 2008 – № 92 (28).
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Практикум: Учеб. пособие для вузов - - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003 – 295 с.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001 – 343 с.

VISUALIZATION OF PROCESSES OF WORK OF THE AIRPORT ON THE BASIS OF SYSTEM OF MASS SERVICE AND THE COMPUTERIZATION OF MANAGEMENT OF FLIGHTS

© 2009 D.G. Volskov. G.L. Rivin

Institute of Aviation Technologies and Managements
of Ulyanovsk State Technical University

In clause authors consider model of approach of air courts to the airport in program Blender which allows to predict situations and to prompt the aviadispatcher those or other possible actions on management of an air vessel. Authors use the theory of mass service on the basis of which form results of researches of the phenomena arising in systems of service of an air vessel.

Key words: model of approach, air courts, airport, theory of mass service.

Dmitry Volskov, Candidate of Technics, Senior Lecturer at the Aircraft Construction Department.

E-mail: aviafil@mv.ru.

Georgy Rivin Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction Department.