

УДК 681.3

Постановка имитационных экспериментов по исследованию механизмов диспетчеризации в имитационных моделях

Е. А. ЛЕВЧУК, В. В. СТАРЧЕНКО

Введение

Имитационный эксперимент по исследованию механизмов диспетчеризации относится к классу экспериментов по сравнению альтернатив [1]. Ключевая проблема в данном частном случае заключается в минимизации ресурсов, требуемых на создание очередной конфигурации диспетчера. Рассмотрим на примере имитационной модели однопутной железнодорожной линии, как указанная проблема решается средствами системы моделирования MICIC4 [2].

Концептуальная модель

Пусть n станций линейно соединены между собой однопутной железной дорогой. На первую и последнюю станцию поступают поезда, которые затем следуют по маршруту, пролегающему по всем станциям. На каждом перегоне (участке железной дороги между соседними станциями) могут находиться поезда только одного направления движения.

Поезда могут задерживаться на станциях столько времени, сколько потребуется для освобождения перегона, по которому должен следовать поезд. Если для движения нет препятствий, тогда поезд на станции не задерживается. Число мест на каждой станции ограничено параметром k . На «крайних» станциях число мест неограничено. На одном перегоне железной дороги может находиться несколько поездов, следующих в одном направлении, однако необходимо соблюдать минимальную временную дистанцию t между выходом двух поездов на один перегон. Направление, в котором разрешено двигаться на конкретном перегоне железной дороги, определяет программный диспетчер. Он может переключить перегон железной дороги в другое направление только в случае отсутствия поездов на этом перегоне. В программе модели реализованы пять различных диспетчеров. Предполагается, что поезда никогда не приходят в аварийное состояние и успевают проехать перегон за определенное время.

Время между поступлением поездов на первую станцию является экспоненциально распределённой случайной величиной с параметром dt_1 . Время между поступлением поездов на последнюю станцию является экспоненциально распределённой случайной величиной с параметром dt_2 . Времена движения поездов между станциями являются случайными величинами, равномерно распределёнными на отрезках $[a_i; b_i]$, где i – номер станции, $i = \overline{1, n-1}$.

Формальная модель

Параметры имитационной модели:

- n – количество станций;
 - k – число мест на каждой станции;
 - t – минимальная временная дистанция между выходом двух поездов на один перегон;
 - dt_1, dt_2 – параметры экспоненциального распределения для задания интенсивности поступления поездов на конечные станции;
 - $[a_i; b_i], i = \overline{1, n-1}$ – параметры равномерного распределения для задания времени движения поездов между i -ой и $i+1$ -ой станцией.
 - num – номер диспетчера, осуществляющего контроль за передвижением поездов (1–5).
- Основные отклики имитационной модели:

- средняя длина очереди поездов на i -й станции;
- среднее время ожидания поезда в очереди на i -й станции;
- коэффициент загрузки i -й станции;
- среднее время движения поезда по всей линии.

В терминах базовой схемы формализации системы моделирования MICIC4 [3] имитационная модель состоит из следующих компонентов: «Очередь на станции» – компонент класса «устройство»; «Перегон» – компонент класса «устройство»; «Источник поездов» – компонент класса «генератор»; «Поезд» – компонент класса «транзакт».

Поезда создаются в источниках поездов, передаются в очереди на станции и циклично передвигаются по модели, по возможности переходя с очередей на станциях на перегоны да тех пор, пока не достигают конечной станции своего пути следования. Структурная схема имитационной модели однопутной железной дороги представлена на рисунке 1.

Для обеспечения возможности проезда поездов друг за другом каждый перегон железной дороги состоит из пары многоканальных устройств, причем количество каналов на каждом из них всегда на единицу больше, чем число находящихся на данном перегоне поездов.

На неконечных станциях можно выделить по одной очереди для поездов, следующих в разных направлениях. Такие очереди имеют общий предел вместительности (так как станция одна) и реализуются одним компонентом модели, за счет задания направления движения каждого поезда (одни транзакты имеют направление на левую железную дорогу, а другие – на правую). Если путь, по которому должен следовать поезд, закрыт (имеет более низкий приоритет, чем у поезда), то поезд остаётся в очереди.

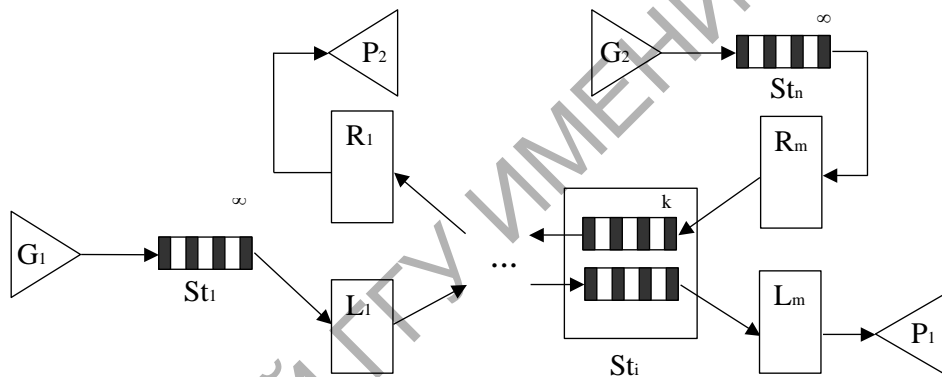


Рисунок – 1 Структурная схема имитационной модели однопутной железнодорожной линии

Обозначения на рисунке 1:

G_1, G_2 – источники поездов;

St_i – очередь на i -ой станции, $i = \overline{1, n}$, где n – число станций;

R_j, L_j – перегоны для поездов следующих соответственно слева направо и справа налево, $j = \overline{1, m}$, где $m = n - 1$ – число перегонов;

P_1, P_2 – условные поглотители.

Диспетчеры поездов

Диспетчеры поездов в имитационной модели на MICIC4 представляют собой функции, которые определяют направление пропуска поездов и управляют открытием/закрытием перегонов. При этом диспетчеры поездов обязаны:

- не допустить столкновения поездов (выезда поездов на один перегон с двух сторон одновременно);
- закрывать перегоны между станциями и ожидать, пока все поезда его не покинут;
- сменять направление движения по перегонам;
- обеспечивать выполнение заданной стратегии.

В процессе работы диспетчеры поездов имитационной модели однопутной железной дороги активно используют нетривиальные для систем массового обслуживания

механизмы управления свойствами объектов, внедренные в управляющую программу моделирования MICIC4. Первый механизм – управление приоритетами. Если приоритет поезда выше приоритета перегона, то поезд может на него поступить. Система приоритетов позволяет диспетчерам как закрывать оба направления движения поездов, так и сменять направление на противоположное. Например, если в один момент времени дорога «вправо» имеет приоритет меньший, чем приоритет поезда, то поезд пропускается по этому направлению. Если дорога «влево» имеет более высокий приоритет, то для поездов это направление закрыто. В программе модели для этого достаточно выполнить одну операцию присваивания (через вызов метода устройства). Остальные действия реализуются управляющей программой моделирования MICIC4.

Второй механизм – управление каналами. Увеличение количества каналов на перегоне приводит к тому, что вслед за уже отправленным по перегону поездом автоматически запускается еще один (конечно, если он есть в очереди). Динамическое увеличение/уменьшение количества каналов обеспечивает ограниченный допуск поездов на перегоны. Аналогично программная реализация заключается всего лишь в выполнении операции присваивания.

В имитационной модели реализовано пять различных диспетчеров поездов, представленных компонентом класса «генератор» [2].

Диспетчер №1. Изменяет направление движения на всех перегонах на противоположное через заданный промежуток времени.

Диспетчер №2. Сравнивает количество поездов на соседних станциях и пропускает поезда с того направления, где на станции большее число поездов.

Диспетчер №3. Поезда «слева» имеют больший приоритет, чем поезда «справа». Анализируются только соседние станции.

Диспетчер №4. Изменяет направление на случайно выбранном перегоне на противоположное через заданный промежуток времени.

Диспетчер №5. Поезда «слева» имеют больший приоритет, чем поезда «справа». Анализируются все станции модели.

Сравнение вариантов функционирования имитационной модели при использовании различных диспетчеров

После создания и испытания имитационной модели был проведен ряд однофакторных имитационных экспериментов [1]. Результаты экспериментов импортировались в табличный процессор Excel и анализировались по различным направлениям. В частности, на рисунках 2–5 представлены диаграммы времён ожидания поездов на средней станции №3 при использовании диспетчеров №1–4 и равных интенсивностях движения в двух направлениях.

Диаграммы времени ожидания поездов на станции №3

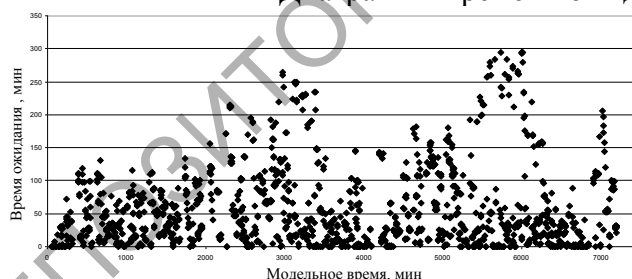


Рисунок 2 – Диспетчер №1

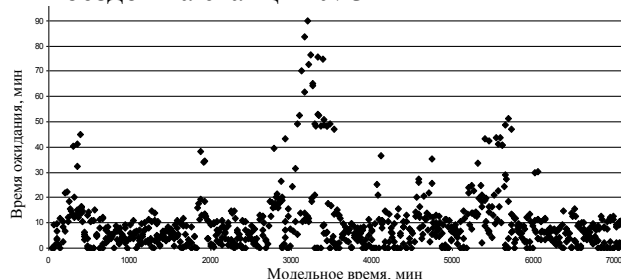


Рисунок 3 – Диспетчер №2



Рисунок 4 – Диспетчер №3



Рисунок 5 – Диспетчер №4

Приведенные диаграммы позволяют выдвинуть гипотезу о том, что наиболее рациональный вариант в смысле величины среднего времени ожидания поездов на станции №3 независимо от направления движения реализует диспетчер №2. Имитационный эксперимент, где проводились попарные сравнения конфигурации имитационной модели на основе диспетчера №2 и остальными диспетчерами, позволил подтвердить данную гипотезу. Этот же диспетчер показал себя как наиболее рациональный и во всех других рассмотренных критериях эффективности. В частности, средние времена движения поездов по всей линии при уровне значимости 5% приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Среднее время движения поездов разных направлений

Диспетчер №	Время движения поездов слева направо	Время движения поездов справа налево
1	95.0	96.2
2	76.1	77.6
3	87.1	121.2
4	134.7	242.4
5	89.5	100.3

Рисунок 3 позволяет предположить, что диспетчер №2 не является абсолютно рациональным для различных интенсивностей движения. Имитационные эксперименты подтверждают, что при определенном превышении интенсивности потока в одном из направлений диспетчеры №3 и №5 становятся выигрышными.

С технической точки зрения программа имитационной модели инвариантна по отношению к типу диспетчера. Значение соответствующего параметра задается в контейнере имитационной модели.

Заключение

Результаты имитационных экспериментов, проведенных с имитационной моделью однопутной железнодорожной линии, с одной стороны, демонстрируют пример решения задачи выбора рационального диспетчера для организации работы сложной системы инструментами системы моделирования MICIC4. С другой стороны, они дополнительно убеждают в правильности реализации подсистемы приоритетов и динамического изменения количества каналов на устройствах в MICIC4.

Abstract. The key problem of the simulation experiment design for the investigation of the dispatcher control lies in the minimization of resources to create the next dispatcher configuration. An example of solving the problem by means of the simulation system MICIC4 is considered in the paper.

Литература

1. Клейнен, Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен; Вып. 2. – М.: Статистика, 1978. – 335 с.
2. Левчук, В.Д. Программно–технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / В.Д. Левчук, И.В. Максимей; Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2006. – 263 с.
3. Левчук, В.Д. Базовая схема формализации системы моделирования MICIC4 / В.Д. Левчук // Проблемы програмування, 2005. – №1. – С. 85–96.