

Значение старшего показателя Ляпунова колеблется для нормальной сетевой активности от 0,1 до 0,3, тем самым доказывая, что данный временной ряд представляет собой хаотический ряд. Анализ изменений в хаотичности параметров сетевого трафика позволит обнаружить в реальном времени аномальную сетевую активность.

Литература

1. Кочурко, П. А. Нейросетевой детектор аномалий / П. А. Кочурко // Изв. Белор. инженер. акад. – 2005. – № 1 (19)/2. – С. 78–81.
2. Nucci, A. Controlled chaos / A. Nucci, S. Bannerman // IEEE Spectrum. – 2007. – № 12 (44). – P. 37–42.
3. Neural Networks for Chaotic Signal Processing: Application to the Electroencephalogram Analysis for Epilepsy Detection / V. Golovko, S. Bezobrazova // International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2006): Proceedings, Brest, 31 May – 2 June, 2006 / Brest State Technical University; eds. : V. A. Golovko [et al.]. – Brest, 2006. – P. 136–139.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗНОСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Д. П. Парфиевич, В. А. Сковпнев

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь

Научный руководитель Е. И. Сукач

В настоящее время большое внимание уделяется разработке математических моделей, позволяющих исследовать реальные процессы, происходящие в сложных системах, для своевременного принятия решений с целью исключения нежелательных ситуаций, возникающих при функционировании этих систем. К таким системам можно отнести и транспортные сети. Транспортный поток значительно увеличивается год за годом. Это приводит к быстрому износу дорог, как автомобильных, так и железнодорожных, что приводит к снижению эффективности функционирования транспортных сетей и увеличивает возможность возникновения аварий.

В докладе рассматривается задача исследования вероятностных характеристик износа железнодорожной сети, которая включает две составляющие ее задачи: исследование износа участка железнодорожной сети и исследование вероятностного изменения состояния железнодорожной сети. При решении поставленных задач предлагается использовать компьютерное моделирование, которое реализуется на основе комплекса взаимосвязанных моделей разного уровня. Модели первого уровня позволяют исследовать процессы износа отдельных участков дорог, которые описываются стационарными поглощающими цепями Маркова. Вершины цепи Маркова определяют состояния участков дорог. Они носят вероятностный характер и влияют на пропускные способности этих участков, которые уменьшаются по мере износа. Логико-вероятностная модель второго уровня, используя информацию первого уровня о текущем состоянии участков, позволяет в динамике проследить изменение вероятностных характеристик износа всей сети.

В процессе эксплуатации участок железнодорожной сети, описываемой графом, подвергается износу. Процесс эксплуатации участка дороги состоит из повторяющихся циклов постоянной жесткости, связанных с передвижением по участку транспортных единиц. Процесс износа является непрерывным физическим процессом, который происходит в результате функционирования комбинированной силовой системы, образованной верхним строением железнодорожного пути и колесом [1]. В этом процессе выделяется ряд состояний, которые характеризуются множеством сочета-

ний значений параметров, определяющих износ железной дороги. Состояния износа дискретны и обозначаются S_1, S_2, \dots, S_b . Накопление повреждений в циклах нагрузки на участок дороги зависит только от этого цикла и от состояния износа в его начале. Время t дискретно, то есть степень износа определяется в конкретные моменты времени. Допустимые состояния износа дискретны. Условие постоянной жесткости цикла нагрузки означает: то, что происходит внутри одного цикла нагрузки, происходит и внутри любого другого цикла нагрузки. Повреждение рассматривается только в начале и в конце цикла нагрузки. Модель ничего не говорит о количественных аспектах того, что происходит внутри цикла нагрузки. Предполагается рассмотрение дискретной модели накопления повреждений, вложенной в непрерывный физический процесс. Из этих замечаний вытекает, что процесс износа описывается стационарной дискретной цепью Маркова.

Участок, характеризуемый определенным уровнем износа, за цикл нагрузки может перейти из состояния, в котором он находился в начале этого цикла нагрузки, в состояние с номером, на единицу большим или не изменить своего состояния [2], что определяет вид цепи Маркова. При переходе участка в состояние S_b , ремонта дороги не планируется, и в этом смысле состояние S_b является поглощающим. Все остальные состояния являются промежуточными. Предполагается рассмотрение двух вариантов эксплуатации участка дороги: рассмотрение накопления повреждений участком дороги без профилактических ремонтов; рассмотрение накопления повреждений участком дороги с учетом регулярных профилактических ремонтов.

Математическая постановка задачи определяется следующим образом. Пусть случайная величина D_0 обозначает состояние износа, в котором находится участок дороги в момент времени $t = 0$. Начальное распределение вероятностей p_0 по состояниям износа в начальный момент времени ($t = 0$) задается вектором: $p_0 = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_{b-1}, 0)$, сумма элементов которого равна 1. Предполагается, что участок дороги не начинает эксплуатироваться в состоянии отказа, поскольку принято, что $p_b = 0$. Величины p_i образуют вероятностную весовую функцию для D_0 . С каждым циклом нагрузки постоянной жесткости ассоциируется определенная матрица переходных вероятностей $\|P\|$. Для определения вектора вероятностей нахождения участка дороги в каждом из состояний в момент времени k используется формула: $p_k = p_0 P^k$.

Очевидно, что для того, чтобы модель адекватно отображала реальные процессы износа и позволяла делать прогнозы необходимо знание элементов матрицы $\|P\|$, которые могут быть получены на основе оценки векторов вероятностей p_i , где $i = 1, \dots, k$ для реальных участков дороги. Как правило, процесс получения данных, характеризующих промежуточные состояния износа участка, является сложным. Обычно имеются данные о состоянии дороги S_b , характеризующем момент, когда ее эксплуатация становится аварийной.

Для определения значений элементов матрицы переходных вероятностей цепи Маркова выбранного вида без восстановлений был разработан алгоритм, использующий экспериментальные данные об износе участка дороги. Исходными данными для работы алгоритма по определению элементов матрицы $\|P\|$ размерности $n \times n$ являются вероятности выхода из строя (отказа) участка дороги за единицу времени для каждого момента времени t , где $t = 1, \dots, 2n$. Работа алгоритма основана на применении компьютерной алгебры.

На втором уровне исследования вероятностных характеристик железнодорожной сети предлагается использовать модифицированный метод логико-вероятностного моделирования [3]. В основе модифицированного логико-вероятностного метода моделирования также лежит предикатное описание системы и законов ее функционирования. Система представляется в виде композиции множества компонентов системы, между которыми установлены определенные связи. Каждый из компонентов системы характеризуется множеством состояний. Состояния компонентов носят вероятностный характер и полностью определяют состояние всей системы в определенные моменты времени. В отличие от общего логико-вероятностного метода исследования [4], множество операторов (функций), задающих характер связи между компонентами сложной системы значительно расширен. При этом, введенные пользователем функции, позволяют учесть при моделировании системы как неопределенность данных, задаваемых векторами вероятностей состояний исходных компонентов сложной системы, так и неопределенность операций, задающих взаимосвязи между этими компонентами.

Объектом исследования является железнодорожная сеть, которая представляется графом, состоящим из вершин и ребер. Вершины – это железнодорожные станции, ребра – железнодорожные пути, соединяющие станции. Граф сети описывается матрицей инцидентности, из которой формируется матрица узловых соединений. На первом этапе исследования реализуется сжатие и преобразование графа к форме с параллельно-последовательными соединениями. Для уменьшения размерности графа используется алгоритм линейного сжатия графа. Линейное сжатие графа происходит за счет объединения нескольких последовательных ребер в одно. Для преобразования произвольного графа к эквивалентному графу с параллельно-последовательными соединениями был реализован алгоритм, описанный в [5].

Таким образом, на вход модели второго уровня моделирования подается граф в форме с параллельно-последовательными соединениями, который можно представить в предикатной форме. Ребра графа описываются устройствами Y_i , $i = 1, \dots, m$. Для определения взаимосвязей между устройствами Y_i используются следующие операции логико-вероятностного метода. Результатом объединения последовательных участков сети является участок с максимальным износом (минимальной пропускной способностью) и для описания их взаимосвязи выбирается операция \wedge . Для объединения участков, расположенных параллельно, используется операция \oplus , представляющая операцию суммарного накопления повреждений.

Для операции \wedge вероятность нахождения устройства $Y_3 = Y_1 \wedge Y_2$ в состоянии S_k определяется формулой:

$$P_k^3 = P_k^1 \sum_{j < k} P_j^2 + P_k^2 \sum_{j < k} P_j^1 + P_k^1 P_k^2, \quad (1)$$

где Y_1 находится в состоянии S_i , а Y_2 – в состоянии S_j .

Для операции \oplus вероятность нахождения устройства $Y_3 = Y_1 \oplus Y_2$ в состоянии S_k определяется формулой:

$$P_k^3 = \sum_{k = \min(i+j-1, n)} P_i^1 \cdot P_j^2, \quad (2)$$

где Y_1 находится в состоянии S_i , а Y_2 – в состоянии S_j .

В результате работы модели первого уровня для каждого устройства Y_i формируется множество векторов вероятностей $P_i = \{\|P_i^t\|\}$, характеризующих изменение во времени износа i -го участка сети. На втором уровне моделирования реализуется нахождение результирующего множества векторов вероятностей $P_s = \{\|P_s^t\|\}$, которые формируются с использованием формул (1) и (2).

Полученные результаты моделирования позволяют проследить за вероятностным изменением характеристик износа рассматриваемой железнодорожной сети во времени и оценить степень влияния износа каждого участка дороги на износ всей сети.

Литература

1. Сосновский, Л. А. Основы трибофатики / Л. А. Сосновский. – Гомель, 2003. – 242 с.
2. Богдановф, Дж. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богдановф, Ф. Козин. – Москва : Мир, 1989. – 335 с.
4. Сукач, Е. И. Использование логико-вероятностного моделирования для исследования характеристик транспортной сети // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2007. – № 5 (44). – С. 77–46.
5. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, С. Н. Черкесов // Москва : Радио и связь, 1981. – 264 с.
6. Райншке, К. Модели надежности и чувствительности / К. Райншке. – Москва : Мир, 1979. – 447 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕННОГО ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ

Т. С. Запольская, В. Н. Кулага

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь

Научный руководитель Е. И. Сукач

Одним из критериев успешного функционирования железнодорожной сети (ЖС) является своевременная доставка грузов с наименьшими затратами. Процесс доставки грузов включает операции обслуживания транспортных потоков, которые отображают сложные реальные процессы и зависят от большого числа случайных параметров, изменяющихся во времени и в пространстве. Согласование имеющихся технических средств железной дороги с общественной потребностью в перевозках отражается графиком доставки грузов, который учитывает план организации вагонов в поезда и план распределения объема работы между станциями с учетом критерия технико-экономической целесообразности [1].

Для решения проблем эффективного планирования разработаны различные аналитические методы, которые, как правило, ограничивают исследователя в количестве задаваемых параметров. Поэтому является актуальным использование методов имитационного моделирования для определения эффективности функционирования ЖС при установленном плане формирования поездов и решения задачи планирования необходимого объема ресурсов, предназначенного для бесперебойного исполнения плана перевозок при наличии случайных факторов, влияющих на исполнение этого плана [2].