



Цифровая модель: прогноз поведения в транспортных процессах



Владимир ГРИДИН
Vladimir N. GRIDIN

Виктор ДОЕНИН
Viktor V. DOENIN



Владимир ПАНИЩЕВ
Vladimir S. PANISHCHEV

Игорь РАЗЖИВАЙКИН
Igor S. RAZZHIVAYKIN



Digital Model: Behavior Forecast in Transport Processes

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 11)

В современном мире многие процессы и события зависят от прогнозирования. С развитием математических моделей учитывается всё большее количество факторов, влияющих на конечный результат прогноза, что, в свою очередь, делает всё более актуальным использование нейронных сетей. Но для обучения нейронной сети требуются исходные наборы данных, которые зачастую не всегда достаточны или вовсе могут отсутствовать. В статье рассмотрен способ получения максимально приближенной к реалиям информации.

Предлагаемый подход заключается в генерации исходных данных с помощью имитационных моделей объекта.

Показано решение задачи генерации наборов данных и обучения на их основе нейронной сети на примере типового сортировочного железнодорожного узла, имитации работы сортировочной горки.

Ключевые слова: цифровая математическая модель, нейронная сеть, имитационное моделирование, анализ, прогнозирование, транспортные процессы, поведение объектов, железная дорога.

Гридин Владимир Николаевич — доктор технических наук, профессор, научный руководитель центра информационных технологий в проектировании Российской академии наук, Москва, Россия.

Доенин Виктор Васильевич — доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Панищев Владимир Славиевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник центра информационных технологий в проектировании РАН, Москва, Россия.

Разживайкин Игорь Станиславович — ассистент Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Транспортный процесс — это развёрнутая во времени и пространстве совокупность операций, необходимых для перемещения объекта из одной точки пространства в другую [1, с. 12]. Операции, на основе которых осуществляется управление транспортным процессом, должны носить локальный, элементарный, детерминированный, направленный и массовый характер, так как в противном случае на их основе нельзя будет выстроить алгоритмическую процедуру управления [2, с. 15].

Основу цифровой математической модели составляют алфавиты:

- $Y = \{S_i, B_j, H_k, V_p, R_m, N_p\}$;
- S_i — начальные и конечные точки;

- V_j — пустая зона;
- H_k — управление дальнейшим действием;
- V_l — транспортный объект;
- R_m — ветвление пути и выбор дальнейшего действия;
- N_p — препятствие на пути движения;
- $Q = \{q_0, q_1, q_2, \dots, q_n\}$ — набор состояний транспортного объекта.
- $D = \{ST, EX, RE, R, L, R(S_k)\}$:
- ST — движение вперёд;
- EX — остановка/ожидание;
- RE — движение в противоположную сторону;
- R — движение направо;
- L — движение налево;
- $R(S_k)$ — движение на один шаг от зоны R к зоне S_k .

События, которые возникают в подобной модели, и реакции транспортного оператора могут представляться выражениями подобного вида [2, с. 16]:

$$\frac{V_i}{q_j} BST \frac{V_i}{q_j}, \quad (1)$$

где первая тройка символов характеризует событие, которое может сложиться в транспортном процессе:

$$\frac{V_i}{q_j} B, \quad (2)$$

а вторая — одну из возможных реакций оператора:

$$ST \frac{V_i}{q_j}. \quad (3)$$

В целом эти две тройки указывают на некоторую логическую операцию, пригодную для управления транспортным процессом на каком-то шаге его развития [1, с. 13].

Цифровая математическая модель позволяет построить цифровую имитационную модель движения транспортных объектов, которая может быть использована при прогнозировании транспортных процессов с помощью нейронных сетей.

Включение нейронных сетей в прогнозирование предполагает поступление данных для их обучения. В транспортной отрасли такие исходные наборы данных не всегда имеются в нужном виде или вовсе могут отсутствовать.

При возникновении подобной ситуации можно пойти двумя путями:

- один из них подразумевает либо подбор параметров вручную, на что нужно потратить немало времени и при этом без гарантий результата, либо попытку получить актуальные данные у компании-представителя отрасли, что, в свою очередь, бывает не менее сложно и занимает порой больше времени, чем подбор параметров;
- второй путь представляет собой построение некоторой имитационной модели, возможно даже немного идеализированной, но имеющей под собой теоретически рассчитанные характеристики, позволяющие воспроизвести процесс, соответствующий реальности.

С помощью имитационной модели можно проанализировать правильность выбора параметров, более наглядно изучить процесс, результаты которого необходимо спрогнозировать, и в итоге получить исходные наборы данных для обучения нейронной сети, которые, в свою очередь, уже не являются абстрактными, а очень близкими к реальным. На построение имитационной модели тратится гораздо меньше времени, чем на подбор параметров. При прогнозировании однотипных процессов можно изменять или адаптировать имитационную модель под конкретный пример, что, с одной стороны, позволит иметь дополнительный контроль результатов, а с другой — провести сравнение методов прогнозирования.

Такой подход актуален для любой транспортной отрасли: железнодорожной, автомобильной, морской или воздушной. В каждой из них существует своя специфика организации движения, но при внесении некоторых ограничений и допущений в цифровую математическую модель она становится применимой к прогнозированию деятельности любого вида транспорта.

Рассмотрим на примере использования имитационной модели сортировочной горки возможность генерации исходных данных для обучения нейронной сети [3, 4].

Возьмём структуру разработанной имитационной модели типовой сортировочной



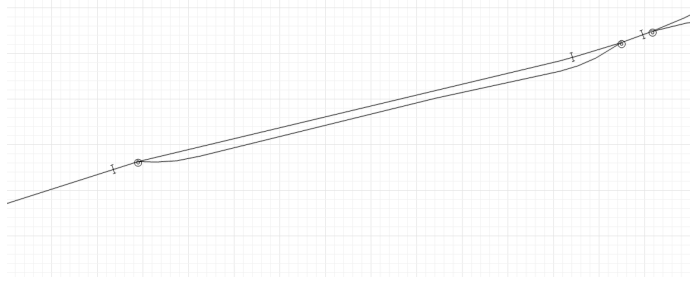


Рис. 1. Участок сортировочной горки, содержащий подъездной путь и путь для обгона локомотива.

Таблица 1

Статистика работы сортировочной горки для секции 1 (АГ)

Часы	АГ	Количество отсортированных вагонов			
	Количество составов в час	Путь 1	Путь 2	Путь 3	Путь 4
1	2	3	4	5	6
1	2.2	38	32	27	35
2	2.2	30	27	39	35
3	2.3	39	29	32	35
4	2.2	38	41	30	25
5	2.2	39	27	37	29
6	2.1	32	34	33	25
7	2.1	27	31	26	42
8	2.1	35	24	37	32
9	2.2	37	36	28	31
10	2.4	32	35	39	39
11	2.2	28	30	45	30
12	2.2	28	25	40	41
13	2.3	27	28	43	41
14	2.1	38	26	34	27
15	2.2	42	37	31	23
16	2.5	40	38	35	37
17	2.0	28	29	32	31
1	2	3	4	5	6
18	2.4	30	27	44	40
19	2.2	31	34	33	31
20	2.3	40	27	35	33
21	2.5	36	39	38	36
22	2.3	40	41	22	32
23	2.3	25	43	34	38
24	2.2	34	40	27	29
ИТОГО	53.5	814	780	821	797
		3212			

горки (рис. 1) и путей формирования составов (рис. 2), созданных с помощью пакета моделирования AnyLogic [3, 4]. Исходя из задачи генерации данных и анализа работы сортировочного узла, можно считать, что именно сортировочная горка является ключевым элементом, влияющим на то, какие данные будут получены на выходе [5–13].

Допустим, что для анализа с помощью нейронной сети нам могут понадобиться следующие данные:

- суточный план-график работы сортировочного узла;
- наиболее используемые типы вагонов и их характеристики;
- количество путей парка отправления и приёма;

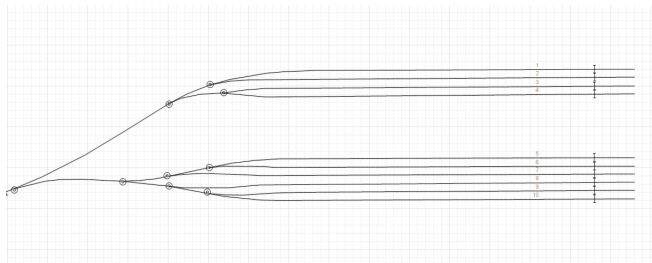


Рис. 2. Участок сортировочной горки, содержащий горку и пути формирования составов.

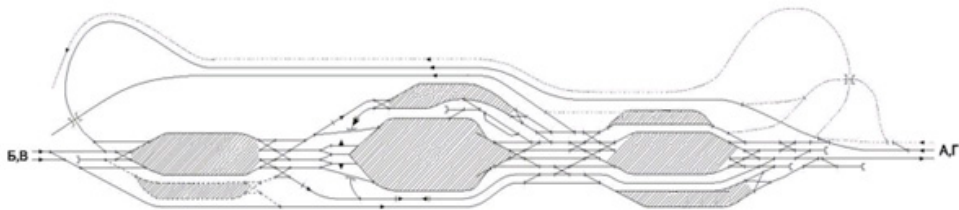


Рис. 3. Схема сортировочного узла с указанием направлений движения (использован рисунок из курсового проекта Марковой В. Р. «Проект новой сортировочной станции с автоматизированной горкой и схемы узла», Москва: МГУПС (МИИТ), 2017).

Таблица 2
Статистика работы сортировочной горки для секции 2 (БВ)

Часы	БВ					
	Количество составов в час	Количество отсортированных вагонов				
		Путь 5	Путь 6	Путь 7	Путь 8	Путь 9
1	2	3	4	5	6	7
1	2.8	30	39	32	29	37
2	2.8	31	40	34	36	27
3	2.8	26	41	38	29	31
4	2.8	33	40	32	29	31
5	2.8	33	26	39	32	36
6	2.9	36	30	26	40	42
7	2.9	34	38	34	33	35
8	2.9	33	40	32	33	33
9	2.8	37	34	35	31	30
10	2.6	30	27	30	37	30
11	2.8	38	39	28	36	25
12	2.8	39	33	35	26	32
13	2.7	33	30	41	31	27
14	2.9	29	43	39	38	25
15	2.8	29	29	30	49	29
16	2.5	24	29	30	27	39
17	3.2	40	40	32	36	41
18	2.6	31	36	31	19	41
19	2.8	34	31	27	31	47
20	2.7	30	34	36	26	38
21	2.5	5	42	36	35	32
22	2.8	35	31	34	36	30
23	2.7	26	29	30	43	34
24	2.8	43	27	26	36	37
ИТОГО	66.4	759	828	787	798	809
		3981				

Таблица 3
Статистика времени ожидания поездов в парке приёма в каждый час работы сортировочного узла

Часы	Время ожидания
1	15.06
2	12.04
3	12.00
4	12.04
5	12.08
6	12.08
7	12.00
8	12.04
9	12.04
10	12.04
11	12.04
12	12.04
13	11.96
14	12.04
15	12.04
16	12.04
17	11.65
18	12.04
19	12.04
20	12.04
21	12.04
22	11.96
23	11.92
24	12.04





- кривизна сортировочной горки;
- коэффициент торможения в точках торможения;
- количество используемых локомотивов;
- количество локомотивных бригад;
- погодные условия.

Подобный список является минимально необходимым, чтобы произвести приближенный анализ работы сортировочного узла и выдать некоторый прогноз [5–15]. Даже эти начальные сведения непросто получить в удобном виде из-за того, что автоматизированная система управления сортировочной станцией состоит из множества модулей, и потому информация хранится в разных местах и различных форматах. А часть информации, включая суточный план-график, составляется вручную.

Впрочем, даже имея минимальный набор данных (вагонооборот, количество используемых локомотивов, количество путей парка отправления, распределение вагонов по направлениям), есть возможность построить требуемую имитационную модель.

В таблицах 1–3 показано, какие данные с помощью имитационной модели удастся получить для типового сортировочного узла с одной сортировочной горкой. Данные, полученные с помощью имитационной модели, соответствуют направлениям движения, показанным на схеме сортировочного узла (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупность рассмотренных примеров подтверждает обоснованность предлагаемого методологического подхода к генерации исходных данных для нейронных сетей с помощью имитационных моделей реального объекта. При этом первоосновой теоретических построений закономерно выступает цифровая математическая модель, что позволяет получить имитационную модель движения транспортных объектов, которая надёжна при прогнозировании транспортных процессов и создании алгоритмов управления ими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доенин В. В. Адаптация транспортных процессов. — М.: Спутник+, 2009. — 219 с.
2. Доенин В. В. Моделирование транспортных процессов и систем. — М.: Спутник+, 2012. — 288 с.
3. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Дело, 2015. — 496 с.
4. Куприяшкин А. Г. Основы моделирования систем: Учеб. пособие. — Норильск: Норильский индустр. ин-т, 2015. — 135 с.
5. Вакуленко С. П., Голубев П. В. Расчёт пропускной и перерабатывающей способности станции. — М.: МИИТ, 2004. — 108 с.
6. Корешков А. Н., Киселев А. Н., Сапегинский Ф. Н., Бородин Е. В., Панин В. В. Организация работы сортировочной станции. — М.: МИИТ, 2008. — 88 с.
7. Максимер И. В., Сукач Е. И., Гируц П. В., Ерофеева Е. А. Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети // Математические машины и системы. — 2008. — № 4. — С. 147–153.
8. Максимер И. В., Сукач Е. И., Гируц П. В., Ерофеева Е. А. Автоматизация этапов разработки и эксплуатации имитационных моделей транспортных систем // Проблемы программирования. — 2008. — № 4. — С. 104–111.
9. Александров А. Э., Ковалёв И. А., Пермикин В. Ю. Моделирование транспортных систем: Учеб.-метод. пособие. — Екатеринбург: УрГУПС, 2011. — 56 с.
10. Лычкина Н. Н. Проектирование логистической инфраструктуры межрегионального мультимодального логистического центра с применением имитационного моделирования // Логистика и управление цепями поставок. — 2014. — № 5. — С. 48–56.
11. Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. трудов / Под ред. А. Н. Рахмангулова. — Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2011. — 209 с.
12. Программа имитационного моделирования работы припортовой железнодорожной станции с вероятностно-статистическим подходом к изменению параметров поступающего вагонопотока. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613827 / Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 08.04.2014. Р. Г. Король, П. В. Даниленко.
13. Карасёв С. В., Сивицкий Д. А. Распределение сортировочной работы на полигоне методом динамического программирования // Совершенствование технологии перевозочного процесса. — Новосибирск, 2015. — С. 94–99.
14. Сивицкий Д. А. Совершенствование методов расчёта параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов / Дис... канд. техн. наук. — Новосибирск: СГУПС, 2017. — 191 с.
15. Осипов Д. В. Совершенствование методов расчёта параметров перевалочной части сортировочной горки / Дис... канд. техн. наук. — Новосибирск: СГУПС, 2017. — 191 с. ●

Координаты авторов: **Гридин В. Н.** — info@ditc.ras.ru, **Доенин В. В.** — vidovas@mail.ru, **Панищев В. С.** — +7(495) 596–02–19, **Разживайкин И. С.** — razzhivaykin.igor.s@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 18.01.2019, принята к публикации 04.03.2019.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 17–20–01133 офи_м_РЖД.