

$$w_{j_{n-1}j_n}^{(n)}(t+1) = w_{j_{n-1}j_n}^{(n)}(t) - \alpha^{(n)} \frac{\partial E_s}{\partial w_{j_{n-1}j_n}^{(n)}}$$

$j_{n-1} = \overline{1, m_{n-1}}, j_n = \overline{1, m_n}$, принимают вид:

$$w_{j_{n-1}j_n}^{(n)}(t+1) = w_{j_{n-1}j_n}^{(n)}(t) - \alpha^{(n)} \cdot \frac{1}{L} \cdot \sum_{k=1}^L C^{(n)} \cdot M_{j_n j_{n-1}}^{(n)} \cdot Y^{(n-1),k}$$

Аналогичным образом можно получить формулы для настройки порогов $T_{j_n}^{(n)}$ нейронной сети.

Теорема доказана.

УДК 681.3.005.23

Ракецкий В.М., Прожерин И.Г., Павлюкович С.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ НА ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОЙ ПЛОЩАДКЕ БРЕСТСКОГО УЗЛА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На брестском узле железной дороги существует проблема несоответствия стандартов ширины колеи между западной и белорусской веткой. В связи с этим возникает задача перегрузки контейнеров с западных вагонов на белорусские.

Для перегрузки контейнеров с платформ западного образца на белорусские необходимо контейнер выгрузить на площадку для таможенного осмотра и декларирования грузов. Затем контейнеры загружаются на белорусский состав.

Контейнеры могут быть двух типов 20 футовые и 40 футовые. Вагоны могут быть трех типов 2-х местных, 3-х местных и полувагон.

Соответствие погрузки контейнеров на вагоны приведено в табл.1.

Контейнеры формируются в комплекты по месту назначения. Один комплект устанавливается на один вагон. Контейнеры могут быть беспорядочно расположены на всей площадке.

Таблица 1 – Соответствие погрузки контейнеров на вагоны.

Тип вагона	Варианты расстановки контейнеров
2-х местный	2х20 футовые
3-х местный	3х20 футовых или 20+40 футовый
полувагон	40 футовый

Загрузку и разгрузку контейнеров осуществляют 3 козловых крана. Они находятся на одних рельсах и при движении возникает проблема столкновения. Для работы используются краны разных типов: один кран для 40 футовых контейнеров и 2 крана для 20 футовых.

Вся площадка разбита на 3 зоны (А, В, С), как показано на рис.1.

На площадке выделены позиции для 20 футовых контейнеров. 40 футовые контейнеры занимают 2 позиции. Ряды и столбцы нумеруются с 1. Позиция контейнера на площадке представляется следующим образом, например А/1/2, что означает контейнер находится в зоне А в ряду 1 и столбце 2.

Целью работы является составление плана загрузки состава, с учетом требований предъявляемых заказчиком:

1) время расчета не более 10 мин. (на среднем классе компью-

тер). Полученные в теореме матричные и рекуррентные соотношения для модификации весовых коэффициентов и порогов многослойных гетерогенных нелинейных нейронных сетей для минимизации среднеквадратичной ошибки сети позволяют их эффективно использовать при программной реализации алгоритмов обучения сетей на основе различных градиентных методов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гладкий И.И., Головкин В.А., Махнист Л.П. Обучение нейронных сетей с использованием метода наискорейшего спуска // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест: БГТУ, 2001. № 5: Физика, математика, химия. – С. 56-61.

тер). Время счета задачи должно быть ограничено, так как некоторые контейнеры могут блокироваться при таможенном осмотре и нужно оперативно получать новый план загрузки в связи с изменением входных данных;

2) минимизация времени загрузки, которая позволяет снизить затраты на электроэнергию, простой составов, износ оборудования и уменьшение количества обслуживающего персонала.

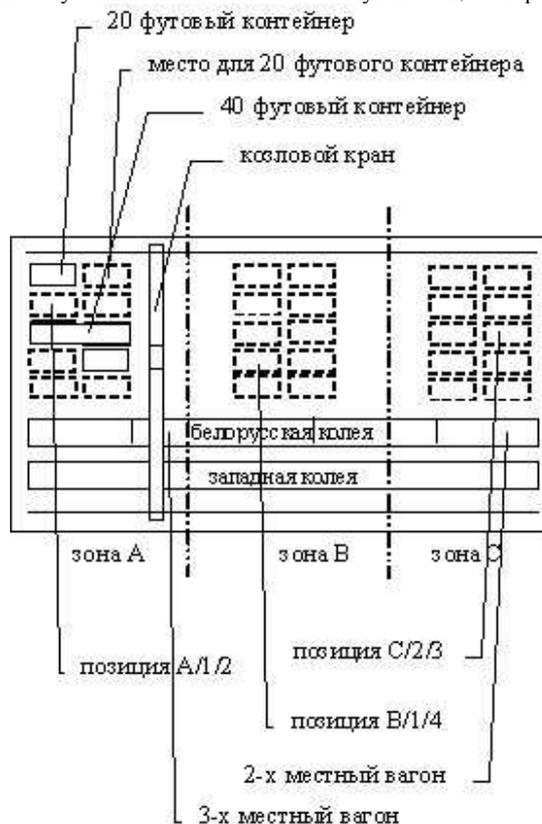


Рис.1 – Погрузочно-разгрузочная площадка на брестском узле железной дороги.

Ракецкий Валерий Михайлович. К. физ.-мат. н., доцент, зав. каф. информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Прожерин Игорь Геннадиевич. Ассистент каф. информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Павлюкович Сергей Вячеславович. Ассистент каф. информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Для решения задачи на вход поступает файл базы данных, в котором описаны номер комплекта, тип комплекта, позиция контейнеров, входящих в комплект на площадке (см. табл.2).

Таблица 2 – Пример входных данных для контейнеров

№ контейнера	№ комплекта	№ в комплекте	Тип	Позиция контейнера
1	1	1	2	A/1/1
2	1	2	2	A/3/2
3	2	1	2	A/3/1
4	2	2	2	B/1/2
5	3	1	4	A/1/2
6	3	2	2	B/1/1
7	4	1	2	A/3/3
8	4	2	2	C/1/2
9	5	1	2	C/1/1
10	5	2	2	C/2/3
11	5	3	2	C/3/2

Кроме этого имеется информация о типах вагонов загружаемого состава (см. табл.3).

Таблица 3 – Пример входных данных для вагонов

№ вагона	Тип
1	2
2	3
3	2
4	3
5	2

В выходных данных (в процессе решения задачи) необходимо сформировать задание на погрузку, которое представляет собой последовательность загрузки контейнеров на вагоны.

2. АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ ЗАДАЧИ

Исследование задачи проводилось в несколько этапов:

- 1) декомпозиция исходной задачи на последовательность более простых подзадач;
- 2) сведение выделенных подзадач к известным классическим задачам и решение этих подзадач различными методами;
- 3) разработка обобщенного алгоритма решения исходной задачи.

Анализ показывает, что данная задача может быть разбита на 3 подзадачи:

- 1) предварительное («грубое») распределение комплектов по вагонам;
- 2) разбиение контейнерной площадки на зоны действия кранов;
- 3) определение последовательности загрузки контейнеров.

Распределение комплектов по вагонам должно осуществляться по правилам, заданным в табл.1.

3. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ПОДЗАДАЧ

3.1. Предварительное распределение комплектов по вагонам

Для решения задачи распределения комплектов по вагонам используем задачу о назначении. Данная задача является частным случаем транспортной задачи и может быть решена при помощи метода потенциалов (используя метод северо-западного угла для построения начального базисного плана). В качестве целевой функции используем время загрузки с учетом времени застропки, перемещения контейнера к вагону и отстропки:

$$t_{ij\text{ заг}} = t_{i\text{ заст}} + t_{i\text{ отст}} + |x_{ik} - x_{j\ell}|/V_x + |y_{ik} - y_{j\ell}|/V_y, \quad (1)$$

где:

$t_{ij\text{ заг}}$ – время загрузки i -го комплекта на j -ый вагон;

$t_{i\text{ заст}}$ – время застропки i -го комплекта;

$t_{i\text{ отст}}$ – время отстропки i -го комплекта;

(x_{ik}, y_{ik}) – средневзвешенные координаты центра i -го комплекта на площадке;

$(x_{j\ell}, y_{j\ell})$ – координаты j -го вагона;

V_x – скорость движения крана вдоль оси X (вдоль состава).

V_y – скорость движения тележки крана вдоль оси Y (перпендикулярно составу).

Координаты средневзвешенного центра для каждого комплекта вычисляются по формулам:

$$x_{ik} = (\sum x_{l\text{ кон}})/n_i, \quad y_{ik} = (\sum y_{l\text{ кон}})/n_i, \quad (2)$$

где:

$(x_{l\text{ кон}}, y_{l\text{ кон}})$ – координаты l -го контейнера;

n_i – количество контейнеров в i -ом комплекте;

С учетом введенных обозначений задача о назначениях принимает вид [1]:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K t_{ij\text{ заг}} x_{ij} \rightarrow \min \\ & \left\{ \begin{aligned} & \sum_{j=1}^K x_{ij} = 1, \quad i = 1..K \\ & \sum_{i=1}^K x_{ij} = 1, \quad j = 1..K \\ & x_{ij} \geq 0 \quad i = 1..K, j = 1..K \end{aligned} \right. , \quad (3) \end{aligned}$$

где:

x_{ij} – план назначений, $(x_{ij} \in \{0, 1\})$;

K – количество комплектов.

3.2. Разбиение контейнерной площадки на зоны действия кранов

Будем рассматривать решение этой подзадачи в общем случае для N кранов. Для возможности работы N кранов необходимо разделить площадку на N непересекающихся зон. Это позволит распараллелить работу кранов и исключить возможность их столкновения.

Обозначим через $t_{i\text{ кр}}$ время работы i -го крана. Тогда общее время загрузки состава $t_{\text{заг}}$ есть величина:

$$t_{\text{заг}} = \max_{1 \leq i \leq N} t_{i\text{ кр}}.$$

Очевидно, что при минимальном $t_{\text{заг}}$ все $t_{i\text{ кр}}$ $i=(1..N)$, примерно равны. Поскольку величины $t_{i\text{ кр}}$ $i=(1..N)$ не известны (являются искомыми), то для разбиения площадки на зоны используем «грубые» оценки (1). Зоны должны быть такими, чтобы «грубое» время работы кранов было примерно одинаковым:

$$\bar{t}_{i\text{ кр}} \approx \bar{t}_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum \sum t_{ij\text{ заг}}, \quad (4)$$

где: $\bar{t}_{i\text{ кр}}$ – оценка времени работы i -го крана, полученная на основе (1).

Для разбиения площадки на зоны можно предложить следующий алгоритм. Последовательно просматриваем вагоны с номерами 1,2,3,... В первую зону включаем n_1 вагонов исходя из условий:

$$\sum_{i=1}^{n_1-1} t_{ij_i} \leq \bar{t}_{cp}, \quad \sum_{i=1}^{n_1} t_{ij_i} > \bar{t}_{cp}, \quad (5)$$

где: j_i – номер комплекта, который устанавливается на i -ый вагон.

Аналогичным образом формируем вторую, третью и т.д. зоны.

3.3. Определение последовательности загрузки контейнеров

После закрепления комплектов за вагонами и разбиения контейнерной площадки на зоны действия кранов необходимо определить последовательность загрузки контейнеров на вагоны, т.е. составить план работы для каждого крана. Возможны две стратегии загрузки контейнеров: по комплектам (контейнеры из одного комплекта устанавливаются последовательно, далее – устанавливается следующий комплект и т.д.) и смешанная (контейнеры устанавливаются на вагоны произвольным образом без привязки к комплектам).

Стратегия установки по комплектам лучше с точки зрения организации работ, т.е. бригада разделяется на 2 группы, одна из которых закрепляет контейнер на площадке, а другая отцепляет его при установке на вагон. При этом возникает меньше перемещений персонала от вагона к вагону. Однако, при большой рассредоточенности контейнеров, входящих в комплект, время загрузки резко возрастает.

Смешанная стратегия позволяет достичь лучших временных показателей загрузки, так как исключаются дополнительные перемещения крана.

Очевидно, что в обоих случаях для минимизации перемещения крана и, следовательно, уменьшения времени загрузки необходимо решить задачу коммивояжера с двумя классами точек: класс А – комплекты или контейнеры и класс Б – вагоны. В точках класса А кран загружается, а в точках класса Б – разгружается, очевидно, что при движении из точки класса А в точку класса Б кран движется загруженным, а наоборот – порожним.

Рассмотрим, как формируется матрица для задачи коммивояжера при использовании смешанной стратегии загрузки. Коэффициентами для этой матрицы является суммарное время подхода крана к контейнеру и его перемещения до вагона:

$$a_{ij} = t_{xi} + t_{ij\text{ заг}}, \quad (7)$$

где:

a_{ij} – время подхода крана к i -му контейнеру и его перемещение к j -му вагону;

t_{xi} – время подхода крана от x -го вагона к i -му контейнеру.

$t_{ij\text{ заг}}$ – вычисляется по формуле (1).

На элементы матрицы накладываются дополнительные ограничения в соответствии с результатом решения задачи о назначении. Например, a_{ij} принимает значение ∞ , если i -ый контейнер не может устанавливаться на j -ый вагон из-за несоответствия типов, как показано в табл.1. Оставшиеся пустые позиции заполняются коэффициентами b_{ji} , которые определяют время перемещения крана от j -го контейнера к i -му вагону, т.е. порожнее движение крана.

Пусть, например, имеется 5 комплектов и 5 вагонов. Установка комплектов на вагоны осуществляется в соответствии с табл.4.

Таблица 4 – Пример задания для установки комплектов на вагоны

№ комплекта	№ вагона
1	1,3,5
2	1,3,5
3	2,4
4	1,3,5
5	2,4

Исходная матрица в данном случае будет иметь следующий вид:

	к1	к2	к3	к4	к5	в1	в2	в3
к1	∞	∞	∞	∞	∞	a_{11}	a_{12}	∞
к2	∞	∞	∞	∞	∞	a_{21}	a_{22}	∞
к3	∞	∞	∞	∞	∞	a_{31}	a_{32}	∞
к4	∞	∞	∞	∞	∞	a_{41}	a_{42}	∞
к5	∞	a_{53}						
в1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	a_{41}	b_{15}	∞	∞	∞
в2	a_{12}	a_{22}	a_{32}	a_{42}	b_{25}	∞	∞	∞
в3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	b_{43}	a_{53}	∞	∞	∞

Рис. 2 – Пример матрицы для задачи коммивояжера.

Задача коммивояжера относится к классу NP-полных задач и является труднорешаемой. Анализ точных классических алгоритмов решения задачи коммивояжера показал, что слабой стороной является время решения, которое экспоненциально возрастает с ростом вектора входных данных. Для решения задачи коммивояжера, будем использовать эвристические алгоритмы, т.к. заказчик определил пределы времени решения задачи (не более 10 мин.) [2-10].

Обобщая всю информацию, полученную в ходе исследования задачи, опишем общую схему решения.

4. ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Решение задачи происходит поэтапно, в соответствии со следующим алгоритмом:

- 1) предварительное распределение комплектов по вагонам;
 - 1.1) рассчитываются характеристики средневзвешенного центра всех комплектов по формуле (2), каждый комплект помечается как нераспределенный, каждый вагон – как порожний;
 - 1.2) по исходным данным на основе формулы (1) формируется задача о назначениях (3) (не считая загруженных вагонов и распределенных комплектов), которая решается методом потенциалов. Начальный план распределения комплектов по вагонам строится методом северо-западного угла.
- 2) разбиение контейнерной площадки на зоны действия кранов;
 - 2.1) рассчитывается средняя оценка времени работы в зоне \bar{t}_{cp} по формуле (4);
 - 2.2) инициализируется значение текущей зоны $z=1$ и время работы в зоне $t_z=0$;
 - 2.3) последовательно просматриваются все вагоны. Текущий вагон относится к зоне z , время его загрузки добавляется к времени работы в зоне $t_z=t_z+t_{ij\text{ заг}}$ и проверяется условие $t_z > \bar{t}_{cp}$. Если это условие выполнено, то зона считается сформированной и, если остались непросмотренные вагоны, начинается формирование новой зоны ($z=z+1, t_z=0$). В противном случае продолжается работа с текущей зоной.
 - 2.4) последовательно просматриваются все комплекты и сравниваются значения координат контейнеров,

входящих в комплект, с координатами границ зон, если хотя бы какие-то два контейнера текущего комплекта находятся в разных зонах или хотя бы один из контейнеров и назначенный вагон находятся в разных зонах, то комплект определяется как межзонный и исключается из зоны;

- 2.5) последовательно просматривается каждая зона и определяется количество комплектов принадлежащих текущей зоне (исключая межзонные комплекты), если в зоне комплектов нет, то количество зон уменьшается на 1 и выполняется переход к п.2.1 до тех пор, пока $N > 0$;
- 3) решение задачи коммивояжера для получения маршрута передвижения кранов;
 - 3.1) для каждой зоны, полученной на этапе 2, формируются данные для задачи коммивояжера;
 - 3.2) решается задача коммивояжера методом включения ближайшего соседа. При этом определяется псевдооптимальный путь движения крана в зоне Z для загрузки комплектов на вагоны, которые относятся к текущей зоне Z (не считая межзонные комплекты), если комплект загружен на вагон, то помечается вагон как загруженный, а комплект как распределенный;
- 4) если все вагоны загружены, то задача решена. В противном случае, есть незагруженные межзонные комплекты. Полагается $N = N - 1$ и этапы 1-3 повторяются.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ

Для снижения затрат на тестирование был разработан модуль генерации тестов. Тесты генерируются случайным образом. Закон распределения случайной величины – равномерный. В генераторе тестов учитываются такие параметры, как средневзвешенная ширина комплекта, количество комплектов. А также учитываются следующие ограничения: количество комплектов равно количеству вагонов, количество вагонов не должно превышать максимально возможное количество на площадке, количество типов вагонов и типов комплектов должно совпадать.

Основным критерием, по которому оценивалось качество программы, являлось минимальное время счета задачи (не более 10 мин).

УДК 681.324:519.711.7

Маньяков Н.В., Махнист Л.П.

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВАРИАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ

1. ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим нейронную сеть, состоящую из n нейронных элементов распределительного слоя и m – выходного слоя (рис.1).

Для данной сети каждый нейрон распределительного слоя имеет синаптические связи w_{ij} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$) со всеми нейронами обрабатывающего слоя. В качестве нейронов выходного слоя используются элементы с некоторой строго монотонной функцией активации F (строгая монотонность необходима для существования обратной функции). На вход сети подаются входные образы – векторы $\bar{x}^k = (x_1^k, \dots, x_n^k)$, ($k = \overline{1, L}$) или, что тоже самое, на

В результате генерации тестов и работы программы получены следующие результаты при решении задачи для 20 комплектов и 20 вагонов: среднее время решения равно 1.38 с.

Таким образом, предложенный алгоритм решения задачи показал достаточно высокое быстродействие.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов А. В., Сакович В. А., Холод Н. И., Высшая математика. Математическое программирование, Мн.: Выш. шк., 1994.
2. Few L., The Shortest Path and the Shortest Road Through n Points, *Mathematica*, 2, 1955, 141]
3. Kaluga V. V., Muravjev S. A., Siridonov S. V., Telyatnikov R. V., Application of genetic algorithms for solutions of the task is frequent – territorial planning group radio electronic equipment, International Conference of Neural Networks and Artificial Intelligence ICNNAI'99|Proceedings. Edited by Vladimir Golovko, - Brest: BPI, 1999, 224p.
4. Гимади Э. Х., Перепелица В. А., Асимптотический подход к решению задачи коммивояжера, Сб. «Управляемые системы», Новосибирск, вып. 12, 1974, 35-45.
5. Гимади Э. Х., Перепелица В. А., Статистически эффективный алгоритм выделения гамильтонова контура (цикла), Сб. «Дискретный анализ», Новосибирск, вып. 22, 1973, 15-28.
6. Меламед И. И., Сергеев С. И., Сигал И. Х., Задача коммивояжера. Вопросы теории // Автоматика и телемеханика. – М.: Наука, 1989. №9. с.3-33.
7. Меламед И. И., Сергеев С. И., Сигал И. Х., Задача коммивояжера. Точные методы // Автоматика и телемеханика. – М.: Наука, 1989. №10. с.3-29.
8. Меламед И. И., Сергеев С. И., Сигал И. Х., Задача коммивояжера. Приближенные алгоритмы // Автоматика и телемеханика. – М.: Наука, 1989. №11. с.3-26.
9. Новиков Ф. А., Дискретная математика для программистов, СПб.: Питер, 2000.–304 с.:ил.
10. Перепелица В. А., Гимади Э. Х., К задаче нахождения минимального гамильтонова контура на графе со взвешенными дугами, Сб. «Дискретный анализ», Новосибирск, вып. 15, 1969, 57-65.

вход сети подается вектор $\bar{\xi} = (\xi_1^T, \dots, \xi_n^T, \xi_{n+1}^T)$, где вектора $\xi_q = (x_q^1, \dots, x_q^L)$, ($q = \overline{1, n}$) и $\xi_{n+1} = (-1, \dots, -1)$.

Выходное значение j -ого нейрона сети для k -ого образа определяется соотношением:

$$y_j^k = F(S_j^k),$$

где

$$S_j^k = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i^k - T_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, L}.$$