

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.383

Нехай  
Игорь Андреевич

Решение задачи коммивояжёра  
при помощи самоорганизующейся карты Кохонена

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание академической степени  
магистра информатики и вычислительной техники

по специальности 1-40 81 01 – Информатика и технологии разработки  
программного обеспечения

Научный руководитель  
Егорова Н.Г.  
к.т.н., доцент

Минск 2020

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

С развитием технологий, человечество столкнулось с необходимостью решать всё более сложные задачи. Некоторые задачи решались благодаря созданию новых математических моделей, некоторые решались при помощи изобретения более совершенных алгоритмов и подходов. Часть задач была решена за счёт увеличения вычислительной мощности компьютеров и использования всё большего объёма ресурсов для достижения результата. Тем не менее, часть задач остаётся нерешаемыми любым подходом. Особо известной группой подобных задач являются NP-полные задачи. Отличительной чертой данных задач является то, что, считается, что они не могут быть решены алгоритмом за полиномиальное время. Задача на подтверждение данной гипотезы является одной из так называемых задач тысячелетия [1], однако на данный момент большинство учёных сходится во мнении, что данные задачи действительно не могут быть решены за полиномиальное время. Для таких задач существует лишь один гарантированный способ получить искомое решение – метод полного перебора или его модификация в виде метода ветвей и границ. Данное решение крайне требовательно к ресурсам и не всегда возможно. Одной из подобных задач является задача коммивояжёра.

Суть задачи коммивояжёра заключается в следующем. Коммивояжёру нужно посетить  $N$  городов строго по одному разу и вернуться в исходный пункт. Расстояния между всеми городами известно заранее. При этом по условию задачи длина пройденного коммивояжёром маршрута должна быть минимальна. Данная задача успешно решается полным перебором для небольших  $N$  ( $N < 100$ ), но для больших  $N$  данный метод решения не подходит. Очевидно, это связано с тем, что общее число вариантов для перебора равно  $N!$ . Таким образом, прямой перебор не является эффективным, а следовательно, есть необходимость в создании неидеально точных решений, которые бы работали быстрее и требовали бы меньше вычислительных ресурсов. Конечно, точность также важна в работе подобных решений, хотя и не всегда является решающим фактором. Для решения подобного класса задач было предложено немало различных эвристик, таких как жадный поиск, а также различные генетические алгоритмы. Тем не менее, они не отличаются высокой производительностью и точностью результатов. Таким образом, в данной области есть пространство для улучшений. Например, генетический алгоритм позволяет достигать неплохих результатов, но он очень медленный, а 2-орт алгоритм хоть и быстрее, но часто не даёт высокой точности результатов.

Сама задача коммивояжёра используется в различных областях, таких как логистика, планирование, производство. Её решения также могут быть

использованы для различных близких прикладных задач, таких как задачи теории расписаний.

В 1982 году финский учёный Кохонен в своей научной работе предложил нейросеть, позднее названную самоорганизующейся картой Кохонена (Kohonen SOM). Особенность этой сети в том, что она способна обучаться самостоятельно, реагируя на сигналы извне. Данный процесс обучения называется процессом обучения без учителя. Подобная возможность позволила данной сети получить признание в области кластеризации. Впервые для решения задачи коммивояжёра она была применена в 2007 году, показав неплохие результаты. Отличительной чертой данного метода была высокая скорость работы. Однако дальнейшего развития данная тематика практически не получила. Это связано с высокой сложностью исследований, поскольку точных способов настройки нейронной сети для решения данной задачи нет, а их вычисление требует большого промежутка времени и немалых вычислительных ресурсов и объёмов данных для тестирования полученных конфигураций нейросетей Кохонена.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Цель и задачи исследования**

*Целью* диссертационной работы является изучение подхода по решению задачи коммивояжёра при помощи нейронной сети, которая называется самоорганизующейся картой Кохонена. Конфигурация сети Кохонена для решения задач коммивояжёра различной размерности является нетривиальной и слабо исследованной задачей, которая может быть решена исключительно эмпирическим путём, что характерно для многих задач, решаемых нейронными сетями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить границы применимости самоорганизующейся сети Кохонена для решения задач коммивояжёра различных размерностей эмпирическим путём.
2. Разработать архитектуру нейронной сети, которая сможет решать поставленную задачу.
3. Реализовать ПО, которое будет решать задачу коммивояжёра при помощи вышеупомянутой нейронной сети с поддержкой предварительной обработки данных.
4. Оценить точность и скорость работы разработанного ПО.

5. Провести экспериментальные исследования разработанной системы с различными конфигурациями.

*Объектом* исследования является использование сетей Кохонена для решения задачи коммивояжёра.

*Предметом* исследования является математическое и программное обеспечение для решения задачи коммивояжёра с использованием самоорганизующейся карты Кохонена.

Основной *гипотезой*, лежащей в основе диссертационной работы, является возможность использования самоорганизующейся карты Кохонена для решения задачи коммивояжёра любой размерности с результатом не более чем на 100% хуже оптимального решения.

### **Личный вклад соискателя**

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Егоровой Н.Г., заключается в формулировке целей и задач исследования.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 2 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из 55 страниц, 4 глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложения с частью кода полученной программы. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения в литературе. Вторая глава посвящена теоретическим деталям решения проблемы при помощи исключительно сетей Кохонена. В третьей главе описываются детали реализации ПО по решению поставленной задачи. В четвертой главе описывается процедура тестирования полученного ПО на реальных задачах, поиск оптимальной конфигурации сети и даётся оценка её результатов. В выводах кратко описываются полученные в рамках исследования результаты и даётся оценка возможности использования сетей Кохонена для решения прикладных задач.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, обозначена практическая ценность работы.

В **первой главе** описывается то, как менялись подходы к постановке задачи коммивояжёра и совершенствовались способы её решения. Описываются различные методы решения задачи, в том числе эвристики, а также способы решения при помощи различных нейросетей. Отдельно рассматриваются научные работы, посвящённые использованию самоорганизующихся карт Кохонена для решения поставленной задачи, их калибровка и полученные результаты.

**Вторая глава** посвящается теоретическим деталям решения задачи коммивояжёра. В ней описывается теоретическая база нейросетей, механизм их работы и обучения. Отдельно выделяются самоорганизующиеся сети Кохонена, описывается базовый механизм их работы и детали реализации. Детально рассматривается подробный алгоритм работы карты Кохонена для решения задачи коммивояжёра и механизм сопоставления нейронов с городами исходной задачи. Данная глава описывает все детали алгоритма, необходимые для дальнейшей реализации.

В **третьей главе** описывается реализация программного продукта, вычисляющего решение задачи коммивояжёра. В качестве языка программирования для решения задачи выбран Python3, для загрузки данных из файла используется известная библиотека по работе с tsp файлами tsplib95, а для математических вычислений применяется библиотека numpy. Подробно описывается сбор тестовых данных и программная реализация самоорганизующейся карты Кохонена, а также описывается архитектура программы.

В **главе четыре** описываются детали настройки полученной программы, оценки точности и скорости её работы. Выделяются основные параметры сети Кохонена, которые требуют настройки для решения задачи: число итераций для обучения  $C$ , коэффициент начального размера нейронной сети  $M$ , начальный коэффициент обучения  $\lambda$ , на коэффициент изменения обучения  $\Delta\lambda$ , коэффициент начального радиуса соседства  $\eta$ , коэффициент уменьшения радиуса  $\Delta\eta$ . Для оценки оптимальных значений данных параметров проводится тестирование результатов на заданном объёме задач с разными параметрами конфигурации, после чего вычисляются наилучшие параметры. Также вычисляется относительная ошибка на заданных задачах. На основании

полученных результатов делаются выводы об настройке и использовании сети на задачах разных размерностей. Кроме этого, изучается зависимость результата от начальной инициализации сети и методов нормализации входных данных. После настройки сети, она используется для решения задач коммивояжёра больших размерностей, в том числе задач с числом городов более 100 000. Для полученных результатов вычисляется функция аппроксимации значения ошибки. Кроме этого, на данных вычислениях оценивается и время работы программы, которое сравнительно невысоко в отличие от некоторых эвристик. Главным выводом является то, что сети Кохонена хоть и способны решать задачи на разных размерностях, тем не менее они дают не самый точный результат, убывающий с ростом размерности задачи, при не самой высокой производительности самого подхода.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Разработано консольное кросс-платформенное программное обеспечение на языке Python3, выполняющее решение задачи коммивояжёра с использованием самоорганизующейся карты Кохонена с заданной конфигурацией сети, с поддержкой автонастройки параметров и параллельного выполнения, а также с поддержкой загрузки tsp файлов с данными.

2. Предложен метод нормализации входных данных с целью улучшения сходимости алгоритма.

3. Определены оптимальные диапазоны параметров нейросети Кохонена для решения задач коммивояжёра различных размерностей. Данные диапазоны получены экспериментальным путём при помощи оценки различных конфигураций на заданном массиве задач. Изучены зависимости точности решения от выбранных параметров и их влияние на полученный результат. Оценены абсолютные и относительные результаты различных конфигураций на задачах из бенчмарка TSPLIB.

4. Проведена оценка точности работы самоорганизующихся карт Кохонена на задачах, с числом городов более 1 000, в том числе на списке задач с числом городов более 50 000.

5. Изучено влияние исходного распределения нейронов сети на результат вычислений.

6. Определена зависимость точности сети Кохонена от размерности исходной задачи. Построены графики зависимости и определена функция,

аппроксимирующая значение ошибки в зависимости от размерности входной задачи.

7. На основе полученных данных сделаны выводы о возможности использования самоорганизующихся карт Кохонена для решения прикладных задач большой размерности.

8. Дана оценка скорости работы алгоритма.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для использования и настройки самоорганизующихся карт Кохонена при решении задач коммивояжёра разных размерностей с необходимой точностью.

2. Разработанный метод оценки точности сети Кохонена может применяться для примерной оценки ожидаемой точности подхода для данной размерности задачи.

3. Разработанное программное обеспечение может использоваться для решения задач коммивояжёра произвольных размерностей с различными конфигурациями сети Кохонена.

### **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1-А. Нехай, И.А. Зависимость точности самоорганизующейся карты Кохонена при решении задачи коммивояжёра от размерности задачи / И.А. Нехай // LXXXIX международная студенческая научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ», – 2020. – № 5(88). – с. 130–132.

2-А. Нехай, И.А. Оптимальные параметры самоорганизующейся карты Кохонена для решения задачи коммивояжёра / И.А. Нехай // LXXXVI Студенческой международной научно-практической конференции «Молодежный научный форум». – 2020. – № 17(86). – с. 23–25.