Гусак Е.В., Гурьев А.Т.

Применение технологий искусственного интеллекта в проектирование маршрутов кабельных трасс

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(Россия, Архангельск)*

doi: 10.18411/trnio-01-2022-44

Аннотация

Проектирование маршрутов кабельных трасс – один из сложных процессов компоновочного проектирования. За последние несколько лет был предложен ряд систем для автоматизации проектирования. Для достижения этого данные системы используют новейшие технологии искусственного интеллекта. В данной статье приводятся примеры таких систем. По сравнению с ручным проектированием, системы с технологиями искусственного интеллекта показывают значительный прогресс в данной области.

Ключевые слова: компоновочное проектирование, кабельные трассы, эвристические алгоритмы, нейронные сети, поиск кратчайшего пути.

Abstract

Cable routing design is one of the complex layout design processes. A number of design automation systems have been proposed over the past few years. To achieve this, these systems use the latest artificial intelligence technologies. This article provides examples of systems for cable design with artificial intelligence. Compared to manual design, systems with artificial intelligence technologies show significant progress in this area.

Keywords: layout design, cable routes, heuristic algorithms, neural networks, shortest path problem.

Одним из самых тяжелых этапов проектирования в машиностроении является этап компоновочного проектирования, где прокладывается маршрут кабельной трассы с учетом расположения различных коллизий, механизмов, вентиляций и т.д. Данный этап в основном выполняется проектировщиками вручную методом проб и ошибок. Но из-за необходимости учета множества требований, проектирования маршрутов кабеля стало сложнее выполнять вручную. Но в последнее время был достигнут значительный прогресс в применении технологий искусственного интеллекта для проектирования кабельного хозяйства. В данной статье приводится обзор таких систем.

Для построения маршрута кабельной трассы могут применяться нейронные сети и эвристические алгоритмы (генетический алгоритм, алгоритм муравьиной колонии и т.д.). Обозреваемые системы успешно реализуют данные алгоритмы для решения поставленной задачи.

Одним из примеров эвристического алгоритма, осуществляющего проектирование маршрута кабельной трассы, является генетический алгоритм разработанный Эндрю Б. Конру [1]. В своем исследовании он использовал несколько генетических алгоритмов в реализации системы прокладки кабельных трасс в трехмерной среде. Он представляет проблему поиска маршрута кабельной трассы как задачу обхода графа с большим выпуклым пространством поиска. Написанный генетический алгоритм осуществляет интеллектуальный и адаптивный поиск маршрута, близкого к глобальному оптимуму. Генетический алгоритм показывает отличный результат при решении данной оптимизационной задачи. Его суть заключается в отборе наилучших решений, которые развиваются из поколения в поколения, пока не будет получен оптимальный результат. Генетический алгоритм использует для получения новых поколений несколько инструментов: отбор, скрещивание и мутацию.

Задачу поиска маршрута кабеля он разделил на две подзадачи: создание конфигурации (топологии) жгута кабеля и его маршрутизация в пространстве. В статье представлены

различные генетические операторы и настройки параметров, которые позволяют строить маршруты, соответствующие окружающей геометрии. Новый подход в использование генетических алгоритмов для решения задачи проектирования маршрута кабельной трассы в трехмерном пространстве используют локализацию градиентного спуска, которая добавляется к локатору переходов для сокращения времени поиска. Координация операций между генератором конфигурации и используемым эвристическими методами позволяет добиться стабильности и гибкости генетического алгоритма. Также разработаны методы, позволяющие установить соответствие между генетическими индивидами.

Другой подход – применение графов. В этом случае задача построения маршрута кабельной трассы сводится к оптимизационной задаче поиска кратчайшего пути на заданном графе. Тобиас Карлссон [2] в своей магистерской диссертации описывает задачу поиска маршрута кабеля как граф с узлами и ориентированными ребрами. Подход заключается в дискретизации трехмерного пространства с помощью точек сетки. Узлы представляют собой точки сетки, а края представляют собой физические пути, по которым может проходить маршрут. Таким образом, результирующие пути между парами узлов представляют кабели.

Задача поиска кратчайшего пути обычно не решается как задача линейного программирования, но, тем не менее, эти результаты пригодятся автору позже в его диссертации. Для задач с целочисленными переменными обычно применяют релаксацию, чтобы получить нижнюю границу оптимального значения целевой функции. Тобиас Карлссон использует один из популярных методов релаксации – лагранжеву релаксацию, которая приближает сложную задачу к более простой. Функция Лагранжа дает нижнюю границу оптимального значения исходной задачи. Задача нахождения наилучшей релаксационной границы называется лагранжевой двойственной задачей.

Автор представляет алгоритмы, которые были использованы и разработаны в его диссертации. Основным алгоритмом является процедура оптимизации отклоненного субградиента с эвристической моделью, применяемы для решения лагранжевой двойственной задачи. Эвристика используется для улучшения верхних оценок путем поиска возможных решений с хорошими результатами. Основной алгоритм использует два эвристических алгоритма.

- Эвристический алгоритм локального поиска – идея алгоритма состоит в том, чтобы перенаправить один кабель за раз через дуги, которые используются другими кабелями, чтобы сократить его путь.
- Эвристический алгоритм решения основной проблемы – этот алгоритм строит модель решения основной задачи поиска кратчайшего пути кабеля. В основной задаче некоторым переменным присваиваются фиксированные значения. Это выражается в небольшом количестве итоговых переменных и дает наиболее точное к оптимальному решению путь кабеля. Идея алгоритма состоит в том, чтобы уточнить переменные, что в итоге приводит к упрощенной линейной программной задаче.

Второй алгоритм задействует многокритериальное линейное программирование – многокритериальную оптимизацию, когда все функции, определяющие проблему, являются линейными. Во многих случаях целевые функции конфликтуют, что означает, что не существует решения, которое одновременно оптимизирует каждую цель. Цель состоит в том, чтобы найти самое оптимальное решение, а с конфликтующими целями существуют так называемые оптимальные по Парето решения. Автор предлагает подход в методе электронных ограничений с алгоритмом двоичной переменной, который находит все оптимальные по Парето и слабо оптимальные по Парето решения. Второй алгоритм для вычисления оптимальных по Парето решений оптимизируется с разными значениями целевых весов. Если задача имеет сложные вычисления, алгоритм взвешенной суммы имеет преимущество по сравнению с другими, поскольку можно выбрать, сколько оптимальных по Парето решений нужно вычислить; это единственный метод, который может применяться, когда в качестве решателя используется эвристический алгоритм.

Автор пишет, что получившееся в результате работы алгоритма решение или схема жгута для промышленного устройства имеет хороший конечный вид. Однако, чтобы проверить, насколько это решение удовлетворяет всем требованиям для прокладки кабеля на подобных устройствах, необходима интерпретация специалиста. Полученный результат не гарантирует, что маршрут кабеля соответствует всем необходимым требованиям

В настоящее время для решения задачи поиска кратчайшего пути на заданном графе все чаще применяются нейронные сети. В статье Дэвида Мака [3] описана простая графовая нейронная сеть, использующая механизм «Attention», а также чтение и запись в памяти. По структуре нейронная сеть относится к классу рекуррентных. В ней связи между элементами образуют направленную последовательность, что дает возможность обрабатывать последовательные пространственные цепочки. Модель нейронной сети позволяет вычислять функции структуры графа. В основу алгоритма обучения нейронной сети положен алгоритм Дейкстры, в котором исключен расчет стоимости пути. На каждой итерации рекуррентная нейронная сеть выполняет следующие действия:

- производит запись данных в состояние выбранного узла;
- распространяет состояние узлов по ребрам в графе;
- считывает данные из состояния выбранного узла;
- берет считанные данные и все предыдущие выводы, объединяет их и создает выходные данные для этой итерации.

Это позволяет многократно комбинировать предыдущие выходные данные в форме простой рекурсии.

При обучении сеть достигает 100% точности тестирования после 9 тыс. циклов. Эта быстрая сходимости показывает, что сеть имеет сильное индуктивное смещение к решению подобных задач.

Использование графовой нейронной сети хоть и показало меньшую эффективность по сравнению с классическим алгоритмом обхода Дейкстры из-за большого количества операций, в перспективе дает больше возможностей.

Задача поиска кратчайшего пути с помощью нейронных сетей также может решаться без использования структур графа. В 2018 году в лаборатории DeepMind [4] смогли построить нейронную сеть, которая позволяла осуществлять векторную навигацию на основе картинки окружающего пространства. В качестве окружающего пространства выступал лабиринт, в котором осуществлял навигацию агент в поисках кратчайшего маршрута из одной точки в другую. Для этого агента они создали многоуровневую нейронную сеть.

На первом уровне находилась рекуррентная нейронная сеть, которая выполняла вычисление координат и интеграцию координат самого лабиринта в нейроны сети. Это привело к появлению структур, которые исследователи называли «нейронными решетками» по аналогии с реально существующими структурами нейронов мозга млекопитающих. В биологии данные структуры позволяли осуществлять запоминать окружающее пространство и осуществлять навигацию

На втором уровне представлена нейронная сеть из нескольких слоев: слоя долгой краткосрочной памяти, линейного слоя и слоя вывода. Данная нейронная сеть предсказывала направление движения агента. Нейронная сеть на этом уровне обучалась с помощью глубокого обучения с подкреплением.

На третьем уровне реализован алгоритм асинхронного актера-критика, который принимал прогнозируемое движение актера с предыдущего уровня и решал двигаться ему или нет. Для этого исследователи использовали функцию ценностей, которая давала оценку тому или иному направлению движения. При этом основным критерием функции ценностей было насколько приближается агент к целевому местоположению.

Исследователи выяснили, что нейронные решетки позволяют осуществлять навигацию более эффективно при использовании в нейронных сетях. Нейронные решетки

важны для векторной навигации и могут быть объединены со стратегиями поиска кратчайшего пути для решения задачи трассировки кабеля.

Нейронные сети могут использоваться не только для трассировки кабеля, но и для прогнозирования качества его монтажа. В статье Фа Линь Вана [5] описано применение нейронной сети для прогнозирования качества его монтажа на этапе проектирования маршрута кабеля. В исследовании была построена модель оценки качества на основе следующих характеристик.

- Механических: минимальный радиус изгиба, напряжение изгиба кабельного жгута, тепловая деформация кабельного жгута, термомеханическое напряжение кабельного жгута.
- Электрических: электромагнитная совместимость, степень перекрестных помех между проводами, напряженность электромагнитного поля.
- Подключения: включение в электрооборудование, защита кабеля.
- Монтажные: доступ для ремонта, эргономичность.
- Окружение: температура, влажность.

Данные характеристики образуют специальную корреляционную матрицу, в которой значение одной характеристики зависит от значения другой. Данная матрица формируется с помощью метода нечеткой синтетической оценки, который позволяет получить оценку общей трассировки кабеля от 1 до 4. С помощью данного метода также формируются прогнозные выборки.

В представленной нейронной сети реализован метод обратного распространения ошибки. На вход нейронной сети подаются данные о состоянии кабеля. В ходе обучения сеть учится предсказывать значения корреляционной матрицы. Результатом работы нейронной сети является прогнозная оценка качества трассировки кабеля.

В данном обзоре мы показали, как могут применяться технологии искусственного интеллекта в проектировании маршрутов кабельных трасс. Исходя из изложенных статей, в основном применяются различные эвристические алгоритмы и нейронные сети. По сравнению с традиционными подходами, данные алгоритмы показывают существенное повышение эффективности при оптимизации маршрута кабельной трассы с учетом расположения различных коллизий. Результаты анализа показывают, что автоматизация проектирования маршрутов кабельных трасс возможна и является перспективным направлением. В будущем развитие новейших технологий в области искусственного интеллекта может привести к революции в данной области.

1. Эндрю Б. Конру, Генетический подход к проблеме прокладки кабельного жгута [Электронный ресурс] // IEEE. – 1994. – Электрон. текст. данные. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1109/ICEC.1994.350016>, свободный (10.12.2021). – Загл. с экрана.
2. Карлссон Тобиас, Оптимизация прокладки кабельных жгутов [Электронный ресурс] // Технологический университет Чалмерса, Гётеборг. – 2020. – Электрон. текст. данные. – Режим доступа : <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301802>, свободный (10.12.2021). – Загл. с экрана.
3. Дэвид Мак, Поиск кратчайших путей с помощью графовых нейронных сетей. [Электронный ресурс] – Электрон. текст. данные. – Режим доступа : <https://medium.com/octavian-ai/finding-shortest-paths-with-graph-networks-807c5bbfc9c8/>, доступ с портала «Medium» (10.12.2021). – Загл. с экрана.
4. Банино, А. Векторная навигация с использованием сеточных представлений в искусственных агентах [Электронный ресурс] / А. Банино, К. Барри, Б. Урия. // Nature. – 2018. – №. 557 – С. 429–433. – Электрон. текст. данные. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0102-6>, свободный (10.12.2021). – Загл. с экрана.
5. Фалин Ван, Прогнозирование качества и контроль электропроводки кабельного жгута с использованием теории расширения и нейронной сети с обратным распространением [Электронный ресурс] / Фалин Ван, Чжинонг Ли, Сюэпэн Го, Вэньхэ Ляо // Успехи в машиностроении. – 2020. – № 12(5) – С. 1-19. – Электрон. текст. данные. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1177/1687814020923103>, свободный (10.12.2021). – Загл. с экрана.