УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ СЕТЕВЫХ РАЗВЯЗОК

Андросов В.В.

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, г. Рязань, Россия

Научный руководитель: Бакулева М.А. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры САПР ВС, РГРТУ

Аннотация. В статье представлена математическая модель и алгоритм поиска оптимальной реализации транспортной сети при соблюдении целевого критерия минимизации пересечений. Модель основана на теории получения плоского графа и доказательства планарности. Предложен алгоритм выявления запрещенных фигур и многокритериальный выбор исключаемых соединений.

Ключевые слова: транспортная сеть, планарный граф, плоский граф.

Введение. Сетевая дорожная инфраструктура, ее поддержка и развитие традиционно являются одними из самых дорогостоящих, как в технологическом, так и проектном аспекте. Современные пакеты автоматизации проектирования не решают задачи анализа возможностей исключения из дорожных сетей многоуровневых развязок, однако каждый новый уровень дорог значительно увеличивает стоимость реализации и время введения в эксплуатацию дорожного полотна. Разработанная программа позволяет проанализировать все возможные варианты «плоскостной» реализации сети и выявить те элементы, которые препятствуют получению планарного графа, из исходной модели. Программа может быть применена в других предметных областях, а также возможна интеграция с пакетами прикладных программ САПР.

В данной статье приводится базовая математическая модель и алгоритм получения оптимальной (с точки зрения минимизации пересечений) структуры дорожной развязки.

Основная часть. С формальной точки зрения, алгоритм заключается в проверке планарности графа, отображающего схему дорожных развязок. Рассмотрим задачу подробнее. Планарным графом называется граф, изоморфный плоскому и расположенный на плоскости с пересечением рёбер. Плоским же называется граф, расположенный на плоскости, если его рёбра могут иметь общие точки только в инцидентных им вершинах, т.е. не пересекаться.

По теореме Понтрягина – Куратовского, граф планарен тогда и только тогда, когда он не содержит подграфов гомеоморфных полному графу K_5 и полному двудольному графу $K_{3,3}$ Разработанный алгоритм выполняет задачу проверки данной теоремы.

В программу передается матрица смежности исходного графа, после чего выдаётся результат, планарный он или нет. Алгоритм описывается следующими образом:

Шаг 1. Формируется и проверяется матрица смежности.

Шаг 2. Поиск подграфов, гомеоморфных графу K_5 и полному двудольному графу $K_{3,3}$. Для выполнения этого шага анализируется матрица смежности исходного графа и матрицы смежности запрещенных фигур. Рассматриваются и выводятся все субматрицы, которые соответствуют подграфам, отвечающим принципу гомеоморфности. Проверка того, возможно ли стягивание двух вершин происходит в отдельной процедуре, которая поочерёдно просматривает все возможные стягивания для каждой вершины (рисунок 1).

Шаг 3. Составление таблицы минимального покрытия для выявления максимального пересечения исходно матрицы и матриц запрещенных фигур.

Шаг 4. Выбор минимального количества рёбер, которые покрывают все выделенные подграфы.

Шаг 5. Вывод результатов в виде рекомендаций по исключению соответствующих пересечений в предложенной матрице дорожной развязки или переноса на другой уровень дорожного полотна.

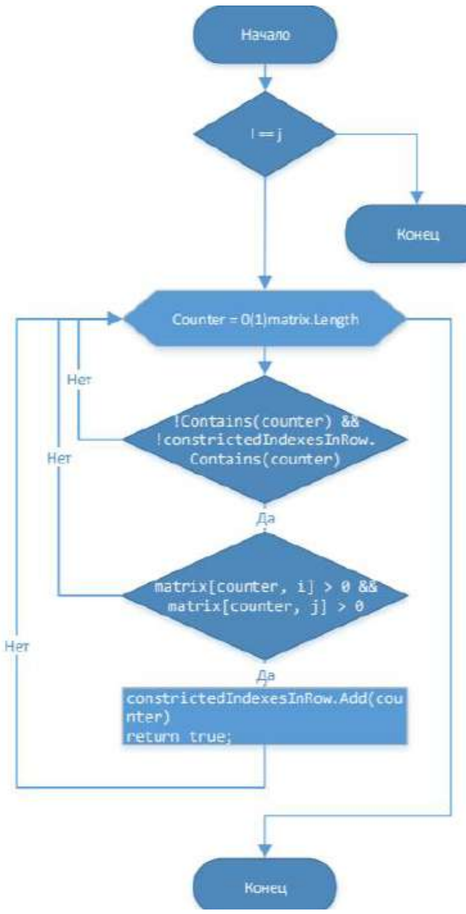

Рисунок 1 – Алгоритм проверки возможности ли стягивание двух вершин для выявления гомеоморфности запрещенным фигурам

Для проверки работоспособности программного обеспечения, разработанного на основе изложенного выше алгоритма, проведены тесты. В первом случае анализировался планарный граф (рисунок 2).

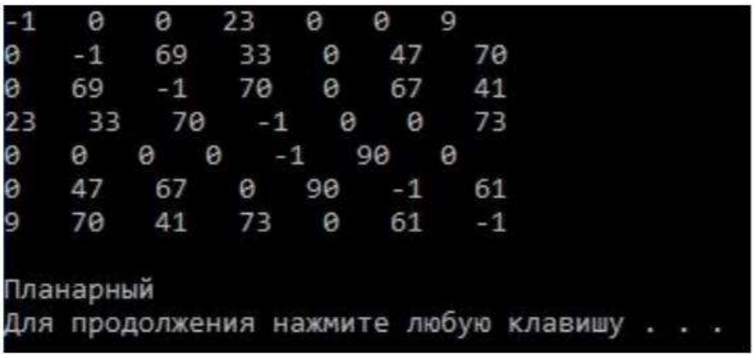

Рисунок 2 – Проверки выполнения условий планарности

Второй вариант тестового графа даст отрицательный результат проверки планарности и применит алгоритм получения планарного графа из непланарного (рисунок 3).

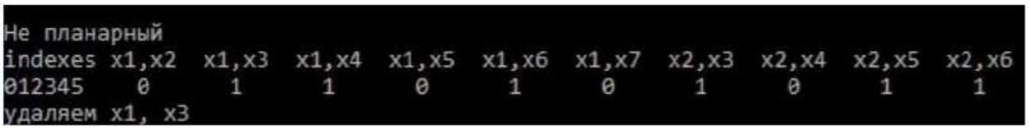

Рисунок 3 – Выявление ребра для получения планарного графа

Проведённое тестирование позволяет судить о работоспособности представленной программной системы.

Заключение. Сетевая дорожная инфраструктура, ее поддержка и развитие традиционно являются одними из самых дорогостоящих, как в технологическом, так и проектном аспекте. Современные пакеты автоматизации проектирования не решают задачи анализа возможностей исключения из дорожных сетей многоуровневых развязок, однако каждый новый уровень дорог значительно увеличивает стоимость реализации и время введения в эксплуатацию дорожного полотна. Разработанная программа позволяет проанализировать все возможные варианты «плоскостной» реализации сети и выявить те элементы, которые препятствуют получению планарного графа, из исходной модели. Программа может быть применена в других предметных областях, а также возможна интеграция с пакетами прикладных программ САПР.

Список литературы

1. *Michael Hausenblas, "Applying the Big Data Lambda Architecture", November 12, 2013. Retrieved February 10, 2018, from http://www.drdobbs.com/database/applying-the-big-data-lambda-architectur/240162604.*
2. *Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е изд. — М.: Вильямс», 2006. — С. 1296.*
3. *В.А. Пышный. Моделирование загрузки транспортной сети // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып. 2. С. 457-473.*
4. *Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие. М.: МФТИ, 2010. — 362 с.*
5. *В. И. Швецов. Математическое моделирование транспортных потоков, Авто- мат. и телемех., 2003, выпуск 11, 3–46*
6. *Aleksandr Bakulev, Marina Bakuleva, Sergei Skvortsov, Maksim Kozlov, Tatiana Pyurova ,Vladimir Hrukin. Modern approaches to the development parallel programs for modern multicore processors.. Proceedings of 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Bar, Montenegro, 2017, pp.38-4*
7. *Bakulev A.V. Models and algorithms for organizing mobile parallel computing environment for multi-core processors. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Ryazan RSREU, 2010. 177 p.*
8. *Bakulev A.V. Synthesis algorithm for parallel implementation of a sequence of programs for computing systems based on multi-core processors // Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University. 2009. № 30. Pp. 43-49.*
9. *Bakulev A.V., Bakuleva M.A., Avilkina S.B. Mathematical methods and algorithms of mobile parallel computing on the base of multi-core processors // European researcher. 2012. V. 33. № 11-1. P. 1826-1834.*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR AUTOMATING THE DESIGN OF MULTILEVEL NETWORK INTERCHANGES

Androsov A.V.

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Bakuleva M.A. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of CAD

Annotation. The article presents a mathematical model and an algorithm for finding the optimal implementation of the transport network while meeting the target criterion for minimizing intersections. The model is based on the theory of obtaining a planar graph and proof of planarity. An algorithm for identifying forbidden figures and a multi-criteria choice of excluded compounds are proposed.

Keywords: transport network, planar graph, planar graph.