

УДК 519.16: 625.711.84 + 519.854.2/.6

Г.А. Борисов, В.Д. Кукин

Институт прикладных математических исследований
Карельского НЦ РАН

Борисов Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории научно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 55 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспорта.
E-mail: borisov@krc.karelia.ru



Кукин Валерий Дмитриевич родился в 1942 г., окончил в 1966 г. Горьковский университет, научный сотрудник лаборатории научно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 49 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспортных сетей.
E-mail: vdkukin@krc.karelia.ru



ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Проблему оптимального проектирования лесотранспортных сетей предложено решать с использованием задачи Штейнера с потоками и зависящими от них весами. Разработаны оригинальная эволюционная модель и ряд алгоритмов, работоспособность которых подтверждается вычислительными экспериментами.

Ключевые слова: лесотранспортная сеть, оптимизация, потоковая задача Штейнера, эволюционная модель.

Социально-политические и экономические потрясения 1990-х гг. привели к резкому снижению объемов заготовки и вывозки леса. Почти прекратилось проектирование и строительство лесовозных дорог. При последующем росте объемов вывозки возможности ранее построенных дорог оказались исчерпаны, и возникла острая необходимость в развитии транспортной сети для освоения лесных массивов. Это стало серьезной финансово-экономической проблемой в условиях роста транспортных тарифов, конкуренции производителей и дефицита инвестиций. Решение проблемы необходимо осуществлять с минимумом затрат, принципиально недостижимым без оптимизации параметров транспортной сети на стадии ее проектирования. В связи с этим определение оптимального варианта лесотранспортной сети особенно актуально в настоящее время.

При развивающихся рыночных отношениях быстро меняются факторы, влияющие на оптимальный выбор параметров сети. Происходят существенные перемены в организации и экономике производственного процесса. Вместо крупных государственных лесозаготовительных появились предприятия разных форм собственности с широким диапазоном варьирования

производственных мощностей и техники. Иными стали основные характеристики выделяемых лесосек: варьируются сроки эксплуатации, уменьшились площади, увеличились их территориальная разбросанность (фрагментарность) и расстояния вывозки леса. Таким образом, рекомендованные ранее отраслевой методикой типовые решения по параметрам лесотранспортных сетей (расстояния между усами и ветками, углы их примыкания) перестали соответствовать характеристикам лесосек.

Кроме того, существенно изменилась методика проектирования. Во-первых, с 1994 г. действует другая методика по оценке эффективности инвестиционных проектов [9], второе, исправленное официальное издание которой вышло в 2000 г. [10]. В ней вместо приведенных используют дисконтированные затраты. Во-вторых, вместо отраслевой классификации лесовозных дорог с подразделением на три категории (магистраль, ветка, ус) применяют классификацию автомобильных дорог общего пользования.

Все это усложнило задачу проектирования сети, хотя ее содержательная формулировка осталась прежней: соединить транспортной сетью фиксированные точки (центры запасов леса) так, чтобы вывезти лес в пункт примыкания к дороге общего пользования с наименьшими затратами на строительство и транспортировку.

Занимаясь задачей оптимизации проектирования лесотранспортной сети с 1970-х гг., мы использовали методы математического моделирования [1]. Однако полученные проектные решения имели серьезный недостаток: развилки размещались только в центрах запасов с заданными координатами, что снижало эффективность полученных решений. Избавиться от этого позволило применение потоковой задачи Штейнера [3] для сети с потоками и зависящими от них весами, согласно которой минимизация затрат достигается добавлением свободно размещаемых развилок (точек Штейнера), не совпадающих с центрами запасов.

Проблема Штейнера принадлежит к классу комбинаторных задач, для которых в принципе невозможно найти оптимальное решение аналитическими методами. Число возможных вариантов сети растет факториально в зависимости от числа центров запасов. Полный перебор вариантов становится невозможным уже при числе центров запасов свыше 12, тогда как в реальных лесосырьевых базах их встречается до нескольких сот. Поэтому мы использовали приближенные эвристические методы поиска решений.

Была разработана методика приложения потоковой задачи Штейнера к транспортным сетям [8], и на ее основе реализована интерактивная система проектирования для персонального компьютера [2]. Система выполняла: преобразование сети, связывающей фиксированные точки, в полное дерево Штейнера с помощью введения свободно размещаемых развилок; выделение и глобальную оптимизацию небольших фрагментов сети; переброску отдельных дуг с перенаправлением потоков; оптимизацию положения развилок с помощью случайного поиска.

Система учитывала возможность работы с лесосырьевыми базами неправильной формы и неравномерным распределением запасов леса.

Она оптимизировала параметры сети: положение развилок, углы примыкания и условия смены категорий дорог. Это позволило снизить затраты на отдельных фрагментах различных сетей от 2 до 27 %. Кроме того, рассчитывали оценки экономической эффективности вариантов очередности строительства в соответствии с методическими рекомендациями [10]. Поиск решения осуществляли в диалоговом режиме работы проектировщика с системой. В результате формировали несколько вариантов проектных решений, что соответствовало возможностям вычислительной техники того времени.

Современный этап развития вычислительной техники связан с появлением нового поколения высокоскоростных персональных компьютеров, многопроцессорных систем, транспьютеров. Особую роль стал играть вычислительный эксперимент как технология исследований. Появились алгоритмы, рассчитанные на проведение параллельных вычислений с помощью многопроцессорных систем.

Оказались востребованы и новые методы решения задач оптимизации. Активно используется методология эволюционного моделирования: генетические, эволюционные и композитные алгоритмы. Их характерной особенностью является имитация эволюции биологической популяции как смены поколений, для формирования которых применяют генетические операторы. Особи популяции соответствуют вариантам решений задачи оптимизации, а оценки их приспособленности – значениям целевой функции.

Важное достоинство этих методов состоит в том, что их можно применять к задачам с произвольными целевыми функциями. Для транспортных сетей целевая функция аппроксимируется кусочно-линейной многопараметрической и многоэкстремальной. Благодаря случайным действиям генетических операторов, методы успешно справляются с многоэкстремальностью. В результате автоматического перебора вариантов формируется совокупность хороших решений. Человека можно привлекать только для выбора варианта из найденных решений, учитывая усложняющие факторы современных условий, а поисковый процесс продолжать от любой точки останова. Эти аргументы оказались существенными в связи с эволюционным подходом к решению потоковой задачи Штейнера.

В общем случае основные этапы исследования проблемы представляют цепочку: объект – задача – модель – алгоритм – программа – решение. В настоящее время, когда резко возросла производительность вычислительной техники, наблюдаются существенные изменения во всех звеньях этой цепочки, начиная с модели, построение которой остается центральным звеном.

Содержательная формулировка задачи оптимального проектирования лесотранспортных сетей не изменилась. Поэтому мы решаем ее с помощью потоковой задачи Штейнера при прежних технологических допущениях, но разработали для нее оригинальную эволюционную модель [7]. Несмотря на обширную литературу по применению методов эволюционного моделирования [11, 4], нет опыта их приложения к потоковой задаче Штейнера. Мы использовали его отдельные приемы и свой опыт создания интерактивной системы. Было также разработано семейство оригинальных

генетических операторов [5], которые, в отличие от стандартных операторов, больше ориентированы на специфику решаемой задачи и позволяют строить эффективные алгоритмы.

На модели построен ряд композитных алгоритмов с разными схемами применения генетических операторов. Для проверки алгоритмов использовали тестовые задачи из Интернет-библиотеки и задачи из практики проектирования, решения которых получены в интерактивной системе. По результатам вычислительного эксперимента [6] отбирали несколько алгоритмов, имеющих практическую ценность и обеспечивающих устойчивый поиск качественных решений. Для тестовых задач находили указанные в Интернет-библиотеке рекордные значения целевой функции. Для задач из практики проектирования они были повторены или улучшены. Время нахождения решений оказалось приемлемым.

Алгоритмы реализованы для персонального компьютера, но их можно сравнительно легко перепрограммировать для многопроцессорных систем.

Для класса комбинаторных задач, к которому относится потоковая, нет методов, гарантирующих определение точного оптимума. Но методы эволюционного моделирования позволяют находить субоптимальные решения.

Мы исследовали распределение числа решений по значениям целевой функции для задач с числом центров запасов более 8. При проведении вычислительного эксперимента из огромного числа решений потоковой задачи удалось просмотреть лишь часть, но и она выражается четырехзначным числом. По мере накопления статистического материала все заметнее проявлялись закономерности распределения, приблизительный вид которого показан на рис. 1. В какой-то мере график отражает характер распределения вероятностей того, что случайное решение попадет в точку с конкретным значением целевой функции.

На графике можно условно выделить несколько областей. Подавляющее большинство решений располагается в средней области (с) кривой, верхняя граница которой выходит далеко за пределы рисунка. Слева на графике – разреженная область (а), где расположены лучшие (субоптимальные) решения. В области (b) хороших решений мы видим более крутую кривую, чем в области (d) плохих решений. Область (e) очень плохих решений, как и (а), – разреженная.

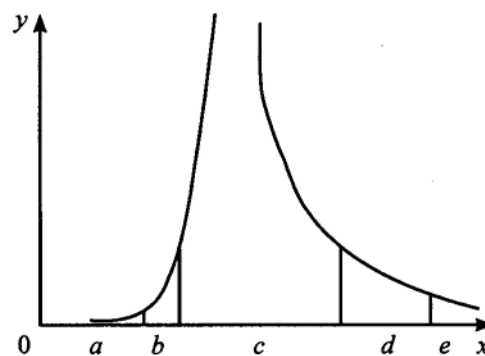


Рис. 1. Распределение числа решений в зависимости от значений целевой функции: x – значение целевой функции; y – число решений

Сравнительно малое число плохих и очень плохих решений объяснимо в объектах

купности очень много плохих топологий с точки зрения геометрии. Но после оптимизации положения точек Штейнера (развилок) большая часть сетей с плохими топологиями попадает в область (с) средних решений. В этих деревьях много сильно запутанных узлов с большим числом вырожденных дуг.

При поиске решений необходимо попасть в область (а) субоптимальных решений. В разработанных нами алгоритмах это достигается применением генетических операторов, использующих оригинальные эвристики. Левую точку глобального минимума в силу специфики задачи указать невозможно.

На рис. 2 приведены разные по конфигурации схемы транспортной сети для лесосырьевой базы на 250 центров запасов с пунктом примыкания в точке 1. Они получены с помощью одного из композитных алгоритмов и имеют близкие значения целевой функции. Отличия состоят в том, что на рис. 2, а представлена сеть с чуть меньшим значением целевой функции, на рис. 2, б – с несколько меньшей общей длиной дорог. Оба варианта могут быть взяты как проектные решения. Дело экспертов – определить конкретные приоритеты.

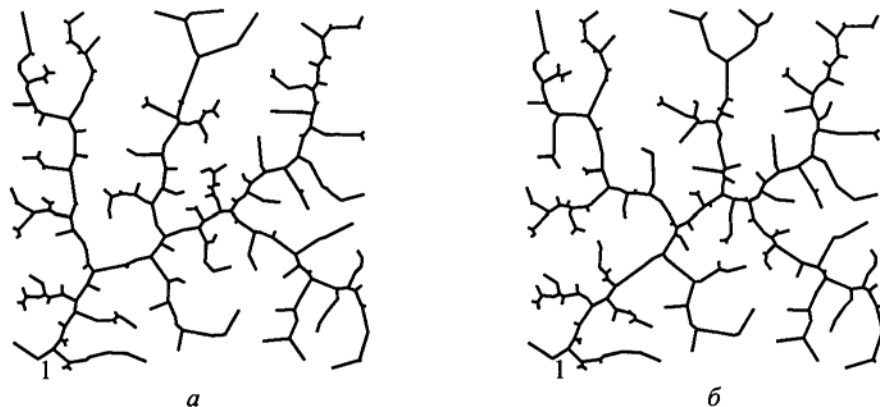


Рис. 2. Схема сети для 250 центров запасов: а – вариант 1; б – вариант 2

В результате сравнения решений потоковой задачи, полученных разными методами, выяснилось следующее. Применяя стандартные методы последовательного поиска улучшений, можно попасть из области (с) в (b), но в область (а) такой поиск, как правило, не приводит. Эволюционный поиск, используемый в разработанных нами композитных алгоритмах, с большой вероятностью способен привести в область (а) субоптимальных решений.

Выводы

Актуальная в настоящее время проблема оптимизации параметров лесотранспортных сетей может решаться с помощью задачи Штейнера с по-

токамаи и зависящими от них весами с использованием методологии эволюционного моделирования.

Для решения этой задачи разработана оригинальная эволюционная модель и генетические операторы. На модели построено семейство алгоритмов. Тестирование показало их практическую пригодность для оптимизации транспортных сетей в лесосырьевых базах, содержащих несколько сотен центров запасов.

Алгоритмы реализованы для однопроцессорной вычислительной системы, но структура позволяет переработать их в алгоритмы нового поколения, рассчитанные на проведение параллельных вычислений в многопроцессорных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов, Г.А.* Методы автоматизированного проектирования лесотранспорта [Текст] / Г.А. Борисов. – Петрозаводск: Карелия, 1978. – 198с.
2. *Борисов, Г.А.* Методы поиска наивыгоднейшего варианта сети лесовозных дорог [Текст] / Г.А. Борисов, В.Д. Кукин, В.И. Кузина // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 63–70. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Гилберт, Э.Н.* Минимальные деревья Штейнера [Текст] / Э.Н. Гилберт, Г.О. Поллак // Кибернетич. сб. Новая серия. – М.: Мир, 1971. – Вып. 8. – С. 19–50.
4. *Емельянов, В.В.* Теория и практика эволюционного моделирования [Текст] / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.И. Курейчик. – М.: Физматлит, 2003. – 432с.
5. *Кукин, В.Д.* Генетические алгоритмы и задача Штейнера с потоками и весами: подход к проблеме [Текст] / В.Д. Кукин // Методы математического моделирования и информационные технологии: тр. ИПМИ КарНЦ РАН.– Петрозаводск, 2002. – Вып. 3.– С. 170–177.
6. *Кукин, В.Д.* Некоторые параметры эволюционной модели для потоковой задачи Штейнера [Текст] / В.Д. Кукин // Там же. – Петрозаводск, 2005. – Вып. 6. – С. 187–192.
7. *Кукин, В.Д.* Эволюционная модель для решения потоковой задачи Штейнера [Текст] / В.Д. Кукин // Там же. – Петрозаводск, 2004. – Вып. 5. – С. 200–211.
8. *Кукин, В.Д.* Методика решения задачи Штейнера с потоками и весами [Текст] / В.Д. Кукин, В.И. Кузина // Там же. – Петрозаводск, 2000. – Вып. 2. – С. 143–150.
9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования [Текст] / Утв. Госстроем России, Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госпромом России 31 марта 1994 г. № 7-12/47.
10. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов: офиц. изд. [Текст]. – 2-я ред. / Руковод. В.В. Коссов, В.И. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: ОАО НПО Изд. Экономика, 2000. – 421с.
11. *Редько, В.Г.* Эволюционная кибернетика [Текст] / В.Г. Редько. – М.: Наука, 2001. – 156 с.

Поступила 21.08.06

G.A. Borisov, V.D. Kukin

Institute of Applied Mathematic Research, Karelian Research Centre RAS

5 **Optimization of Forest Road Network Parameters under Contemporary Conditions**

It is suggested to use Steiner problem with flows and weights depending on them for solving the problem of optimal design of forest road networks. The original evolution model and a number of algorithms are developed with efficiency confirmed by computing experiments.

Keywords: forest-transport network, optimization, flow-oriented problem of Steiner, evolution model.

