

Сплайн-аппроксимация как основа компьютерной технологии проектирования трасс линейных сооружений

Д. А. Карпов^{1*}, С. С. Смирнов¹, В. И. Струченков^{1*}

¹ Российский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия

* str1942@mail.ru

Аннотация. Данная статья является продолжением статьи, опубликованной в № 1 журнала «Прикладная информатика» в 2019 году [1]. В ней задачи компьютерного проектирования трасс различных линейных сооружений (новые и реконструируемые железные и автомобильные дороги, трубопроводы различного назначения, каналы и др.) рассматриваются с единых позиций – как задачи аппроксимации последовательности точек на плоскости гладкой кривой, состоящей из элементов заданного вида, т. е. сплайном. Принципиальное отличие от других задач аппроксимации, рассматриваемых в теории сплайнов и ее приложениях, состоит в том, что границы элементов сплайна и даже их число неизвестны. Поэтому предложена двухэтапная схема поиска решения. На первом этапе с помощью динамического программирования определяется число элементов сплайна и их параметры. Для некоторых задач этот этап является единственным. В более сложных случаях результат первого этапа используется как начальное приближение для оптимизации параметров сплайна с помощью нелинейного программирования. Другим осложняющим обстоятельством является наличие многочисленных ограничений на параметры сплайна, которыми учитываются проектные нормативы и условия строительства и последующей эксплуатации сооружения. В статье рассмотрены особенности математических моделей соответствующих проектных задач. Для сплайна, состоящего из дуг окружностей, сопрягаемых отрезками прямых, используемого в проектировании продольного профиля как новых, так и реконструируемых железных и автомобильных дорог и трубопроводов, построена математическая модель и использован нестандартный алгоритм решения задачи нелинейного программирования с учетом структурных особенностей системы ограничений. В отличие от стандартных алгоритмов нелинейного программирования используется построение базиса в нуль-пространстве матрицы активных ограничений и его модификация при изменении набора активных ограничений. При этом для поиска направления спуска на каждой итерации не требуется решение вспомогательных систем уравнений вообще. Рассмотрены два варианта организации итерационного процесса оптимизации: спуск по группам переменных при наличии участков независимого построения направления спуска и традиционное изменение всех переменных в одной итерации.

Ключевые слова: трасса, план и продольный профиль, сплайн, нелинейное программирование, целевая функция, ограничения, базис, приведенный антиградиент

Для цитирования: Карпов Д. А., Смирнов С. С., Струченков В. И. Сплайн-аппроксимация как основа компьютерной технологии проектирования трасс линейных сооружений // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 5. С. 82–98. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-5-82-98

Spline-approximation as the basis of computer technology design of linear structures routes

D. Karpov¹, S. Smirnov¹, V. Struchenkov^{1*}

¹ Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russia

* str1942@mail.ru

Abstract. This article is a continuation of the article published in Journal of Applied Informatics no.1 in 2019 [1]. In it, the problems of computer design of routes of various linear structures (new and reconstructed railways and highways, pipelines for various purposes, canals, etc.) are considered from a unified standpoint, as problems of approximating a sequence of points on plane of a smooth curve consisting of elements of a given type, i.e. spline. The fundamental difference from other approximation problems considered in the theory of splines and its applications is that the boundaries of the elements of the spline and even their number are unknown. Therefore, a two-stage scheme for finding a solution has been proposed. At the first stage, the number of spline elements and their parameters are determined using dynamic programming. For some tasks, this stage is the only one. In more complex cases, the result of the first stage is used as an initial approximation to optimize the spline parameters using nonlinear programming. Another complicating factor is the presence of numerous restrictions on the spline parameters, which take into account design standards and conditions for the construction and subsequent operation of the structure. The article discusses the features of mathematical models of the corresponding design problems. For a spline consisting of arcs of circles, mated by line segments, used in the design of the longitudinal profile of both new and reconstructed railways and highways and pipelines, a mathematical model is built and a new algorithm for solving a nonlinear programming problem is proposed, taking into account the structural features of the constraint system. In contrast to standard nonlinear programming algorithms, a basis is constructed in the zero-space of the matrix of active constraints and its modification is used when the set of active constraints changes. At the same time, to find the direction of descent at each iteration, no solution of auxiliary systems of equations is required at all. Two options for organizing the iterative optimization process are considered: descent through groups of variables in the presence of sections for independent construction of the descent direction and the traditional change of all variables in one iteration. Experimentally, no significant advantage of one of these options has been revealed.

Keywords: route, plan and longitudinal profile, spline, nonlinear programming, objective function, constraints, basis, reduced antigradient

For citation: Karpov D., Smirnov S., Struchenkov V. Spline-approximation as the basis of computer technology design of linear structures routes. *Prikladnaya informatika*—Journal of Applied Informatics, 2021, vol.16, no.5, pp.82-98 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-5-82-98

Введение

Проектирование линейных сооружений — это сложный творческий процесс, в котором решающее значение имеет удачный выбор положения трассы в плане и в продольном профиле. В этом процессе по-

мимо творческой части значительное место занимает решение рутинных задач: изготовление различных чертежей, ведомостей и др.

Сложились два направления в создании и развитии компьютерных технологий проектирования трасс линейных сооруже-