

Научная статья
УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИИ В МОДЕЛЯХ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ

Александра Андреевна Шамина¹, Александр Витальевич Лубенцов²

^{1, 2} Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний
России, Воронеж, Россия

^{1, 2} lubensov@mail.ru

Аннотация. В этой статье ведется рассуждение на тему использования сплайн-аппроксимации в радиотехнике, основных свойств и преимуществ сплайн-аппроксимации. Затем рассматриваются области применения сплайн-аппроксимации в инженерии и радиотехнике. Также рассматриваются основные виды сплайнов, используемые для аппроксимации сигнала, и другие области применения сплайн-аппроксимации.

Ключевые слова: сплайн-аппроксимация, радиотехника, радиосигналы, кубические сплайны, квадратичные сплайны

Для цитирования: Шамина А. А., Лубенцов А. В. Применение сплайн-аппроксимации в моделях организации связи // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 722–726.

Original article

APPLICATION OF SPLINE APPROXIMATION IN COMMUNICATION ORGANIZATION MODELS

Alexandra A. Shamina¹, Alexander V. Lubentsov²

^{1, 2} Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia,
Voronezh, Russia

^{1, 2} lubensov@mail.ru

Abstract. This article discusses the use of spline approximation in radio engineering, the main properties and advantages of spline approximation. Then the fields of application of spline approximation in engineering and radio engineering are considered. The main types of splines used for signal approximation and other applications of spline approximation are also considered.

Keywords: spline approximation, radio engineering, radio signals, cubic splines, quadratic splines

For citation: Shamina A. A., Lubentsov A. V. (2026) *Primenenie splajn-approximacii v modelyax organizacii svyazi* [Application of spline approximation in communication organization models]. *Nauchnoe tvorчество molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii* [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 722–726. (In Russ).

Связь представляет собой соединение двух или большего числа объектов, предназначенное для передачи информации, основным требованием к которому служит обеспечение возможности участникам обмениваться данными с минимально возможными потерями. Радиотехника располагает разнообразием методов организации связи, начиная от антенных устройств и заканчивая спутниковыми системами. Каждый из них обладает собственным набором плюсов и минусов, позволяющим охватывать широкий спектр областей человеческой жизнедеятельности и науки. К числу подобных методов относится также сплайн-аппроксимация, выделяющаяся рядом особенностей, которые позволяют ей успешно соперничать с иными подходами.

Сплайн-аппроксимация представляет собой способ преобразования функций, при котором исходная зависимость делится на отдельные сегменты, каждый из которых описывается отдельным полиномом. Существует множество типов сплайнов, обладающих уникальными характеристиками, необходимыми для успешного решения множества научных и практических задач. Среди ключевых достоинств сплайн-метода перед прочими методами аппроксимации и интерполяции выделяются: высокая точность даже при небольшом числе опорных узлов; гладкое сопряжение отдельных частей на стыках интервалов; простота реализации вычислительных операций; минимальная вероятность возникновения крупных погрешностей вследствие независимого расчета каждой отдельной части.

Благодаря указанным достоинствам сплайн-метод получил широкое распространение в исследовательской и профессиональной практике. Возможность разделения аппроксимируемой функции на автономные фрагменты обеспечивает минимальные искажения итогового результата, поскольку каждая отдельная составляющая рассчитывается независимо. Так как в большинстве этапов задействованы полиномы, их производные позволяют точно определить места стыковки фрагментов, обеспечивая непрерывность и гладкость переходов между ними. Все эти преимущества позволяют структурировать огромные объемы данных, а также анализировать и прогнозировать цифровые значения во многих актуальных областях жизни. Однако в первую очередь метод аппроксимации информации с помощью сплайнов используется в технических областях.

Метод сплайн-аппроксимации широко востребован в инженерных научных и производственных отраслях и активно используется специалистами разных направлений, так как основная цель метода заключается в наглядном представлении больших массивов данных, минимизации возможных ошибок и облегчении процесса проектирования сложных конструкций. Инженеры применяют этот инструмент при разработке изделий сложной формы, позволяя эффективно обрабатывать поверхности и площади, оптимизировать движение механических элементов и улучшать форму компонентов. Это значительно упрощает расчетные процедуры и снижает влияние человеческих факторов, приводящих к ошибкам. Подробности использования данного подхода детально изложены в специализированных публикациях [1–3].

Также сплайн-аппроксимация активно применяется в радиотехнике. Этот метод используется для сглаживания ошибок и погрешностей при восстановлении сигнала после передачи. Из-за его свойства реализовывать аппроксимирование быстро и точно, а также относительно небольшого объема данных, этот метод активно используется для устранения «провалов» в основных частях переданных данных. Сплайн-аппроксимация, используемая для обработки и передачи радиосигналов, рассматривается в статье [4].

«Основой, заложенной в этом методе, являются полиномы, сохраненные на двух концах линии передачи сигналов на передатчике и приемнике. Это делается для того, чтобы не нужно было передавать целые функции, потерянные данные из которых могут серьезно повлиять на большой участок сигнала. Поэтому по каналам передаются только коэффициенты, которые позволяют восполнить полученные в процессе восстановления пробелы и уменьшить шумы. Наиболее выгодным и результативным методом является деление функции на линейные или квадратичные полиномы. Исходя из этого можно сказать, что чем ниже степень полинома, тем более точными и простыми в обработке являются сплайны» [4].

Существует множество различных видов сплайнов. Они могут как значительно различаться по своим свойствам и функциям, так и отличаться лишь степенью полиномов. Однако для аппроксимации и интерполяции радиосигналов в подавляющем случае используются кубические и квадратичные сплайны. Оба этих вида достаточно активно применяются для формирования связи в радиотехнике, но кубические сплайны чаще используются по сравнению с квадратичными из-за большей гладкости в узловых точках и соответственно точности передачи, что позволяет задействовать их в процессе передачи данных в более сложных системах. Однако в более легких конструкциях, которые не нуждаются в высоком качестве восстановленного сигнала, лучше использовать квадратичные сплайны из-за большей легкости реализации при сохранении достаточного уровня качества.

«В вычислительной математике сплайном называется функция, которая вместе с производными непрерывна на всем заданном отрезке $[a; b]$,

но при этом на каждом частичном отрезке $[x_{i-1}; x_i]$ в отдельности представляется в виде некоторого алгебраического многочлена.

Максимальная по всем частичным отрезкам степень многочленов называется степенью сплайна, а разность между степенью сплайна и порядком наивысшей непрерывной на $[a, b]$ производной – дефектом сплайна.

Алгоритм кусочно-квадратичной интерполяции относительно прост и включает в себя два этапа:

- 1) нужно найти три узла, ближайших к узлу интерполяции;
- 2) вычислить значение интерполяционного многочлена второй степени» [3].

Сплайны также применяются во многих областях жизни далеких от связи и инженерии. В медицинской сфере сплайн-аппроксимация также нашла широкое применение в различных направлениях. Во-первых, она позволяет заметно повысить четкость изображений в медицинском оборудовании, что значительно упрощает диагностику заболеваний. Метод также полезен для прогнозирования роста новообразований и планирования лечебных мероприятий. Экономисты сталкиваются с аналогичной задачей: обработкой больших объемов данных, требующей эффективного представления и анализа информации, включая построение прогнозов развития экономики, что делает использование сплайн-аппроксимации весьма полезным и в этой области.

Заключение

Аппроксимация методом сплайнов представляет собой уникальный метод решения проблемы отсутствия достаточного качества аппроксимируемых данных. И именно в радиотехнике, помимо описанных научных сфер, существует большая необходимость в получении наиболее полного восстановления передаваемого сигнала. Человек с каждым годом требует лучшего качества и большего количества функций в регулярно совершенствующейся технике, что повышает востребованность сплайн-аппроксимации, так как этот способ может бесконечно повышать качество аппроксимируемой функции за счет повышения степени полинома, несмотря на бесконечное усложнение расчетов. Но исследование аппроксимации методом кубических сплайнов должно продолжаться из-за возможных перспектив развития и применения этого метода в технологиях будущего.

Особенно актуальным представляется использование разработанных моделей при создании каналов связи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они способны обеспечить упаковку, обработку и восстановление сигналов в радиотехнических системах передачи, а также применяться в системах информационной безопасности [4].

Рассматриваемая методика использования сплайновой аппроксимации и сплайновой интерполяции для перечисленных выше задач обработки сигналов в защищенных информационных системах планируется авторами к дальнейшему рассмотрению и совершенствованию.

Список источников

1. Юрин Ю. В., Кутыркин В. А. Аппроксимация сферическими сплайнами гладкой поверхности, ограничивающей звездную область евклидова пространства // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 2 (2). С. 174–185.
2. Шамина А. А., Лубенцов А. В. Анализ построения аппроксимационных моделей с применением сплайнов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 635–638.
3. Лубенцов А. В Системный анализ модели описания радиотехнических сигналов сплайнами в закрытых информационных сетях комплексных систем безопасности // Правовая информатика. 2024. № 2. С. 72–81.
4. Лубенцов А. В., Душкин А. В. Комплексные системы безопасности: системный анализ, архитектура, управление жизненным циклом. Воронеж : Научная книга, 2022. 254 с.