

**БИКУБИК СПЛАЙНЛАР АСОСИДА ГЕОФИЗИК СИГНАЛЛАРНИ РАҚАМЛИ
ИШЛАШ**

Азимов Рахимжон Каримович,
Андижон давлат университети, доценти
Якубова Одинахон Шукурбек қизи,
Андижон давлат университети магистранти
Махмуджонова Гулшаной Мамиржон қизи,
Андижон давлат университети магистранти
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6811474>

Аннотация. Ушбу мақола параболлик локал интерполяцияцион сплайн-функцияси асосида геофизик сигналларни моделлаштиришига ва сигналларнинг спектрал таҳлили асосида геофизик сигналларга ишлов беришига бағишланган. Ҳар хил геофизик сигналларни рақамли ишлаш ва тиклаш масалаларида математик модел қуриши учун сплайн-функцияларни қўлланилиши ҳозирги вақтда амалий масалаларни ечишда долзарб ҳисобланиши кўрсатиб кетилган. Мисол тариқасида геофизик сигналларни дастлабки экспериментал маълумотлари олинди ва шу маълумотлар асосида параболлик локал интерполяцияцион кубик сплайн модели қурилди. Қурилган локал интерполяцияцион кубик сплайн модели ёрдамида геофизик сигнални интерполяциялаш жараёни келтирилган. Сплайн функцияси орқали геофизик сигналларни рақамли ишлаш орқали маълум бир майдонда нефт маҳсулотлари кўп миқдорда жойлашган нуқтасини аниқлашни кўриб чиқилди.

Калим сўзлар: Интерполяцияцион кубик сплайн, электромагнит, интерполяция, гравитацион майдон, В-сплайн, фазовий частота, амплитуда, сигнал спектри.

**DIGITAL PROCESSING OF GEOPHYSICAL SIGNALS BASED ON BICUBIC
SPLASHES**

Abstract. This paper is devoted to modeling of geophysical signals based on the parabolic spline function of local interpolation and processing of geophysical signals based on spectral analysis of signals. It is shown that the use of spline functions for constructing a mathematical model of digital processing and recovery of various geophysical signals is currently relevant for solving practical problems. The first experimental data of geophysical signals were taken as an example, and a parabolic local interpolation cubic spline model was constructed based on these data. Also presented is the process of interpolating the geophysical signal using the built-in local interpolation cubic spline model.

Keywords: Cubic spline interpolation, electromagnetic, interpolation, gravitational field, B-spline, spatial frequency, amplitude, signal spectrum.

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ
БИКУБИЧЕСКИХ ВСПЛЕСКОВ**

Аннотация. Данная статья посвящена моделированию геофизических сигналов на основе параболической локальной интерполяционной сплайн-функции и обработке геофизических сигналов на основе спектрального анализа сигналов. Показано, что применение сплайн-функций для построения математических моделей в вопросах цифровой обработки и восстановления различных геофизических сигналов в настоящее время является актуальным при решении практических задач. В качестве примера были получены исходные экспертные данные геофизических сигналов, и на основе этих данных

была построена параболическая локальная интерполяционная кубическая модель сплайна. Представлен процесс интерполяции геофизического сигнала с использованием встроенной локальной интерполяционной кубической модели сплайна. С помощью функции *Splayn* было рассмотрено определение точки, в которой находится большое количество нефтепродуктов в заданной области, посредством цифровой обработки геофизических сигналов.

Ключевые слова: интерполяционный кубический сплайн, электромагнитный, интерполяция, гравитационное поле, *B*-сплайн, пространственная частота, амплитуда, спектр сигнала.

КИРИШ

Кўп геофизик тадқиқотларда олимларнинг уринишлари фойдали қазилмалар жойлашган жойлар тўғрисида маълумотлар берадиган даракчилар (предвестниклар)ни қидиришга йўналтирилган. Даракчилар деб, бирор параметрнинг аномал ўзгариши, унинг қийматларини тўсатдан жуда ортиб ёки камайиб кетиши тушунилади. Яъни геофизик сигналдаги аномал ўзгаришларга қараб, прогнозлаш (башоратлаш)ни амалга ошириш мумкин. Одатда прогнозлаш натижасида фойдали қазилмаларнинг энг кўп йиғилган жойи, уларнинг захира ҳажми каби маълумотларни олдиндан айтиб бериш мумкин бўлади. Даракчи сифатида ернинг электромагнит, гравитацион майдонларидаги аномал ўзгаришлар, ионосферадаги аномал ўзгаришлар, сейсмик ҳолатлар (шумлар), турли акустик тебранишлардан фойдаланиш мумкин.

ТАДҚИҚОТ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА МЕТОДОЛОГИЯСИ

Бугунги кунда спектрал таҳлил асосидаям қазилма бойликларини башоратлашда кенг қўланилмоқда. Спектрал таҳлилнинг хусусиятлари ва афзалликлари қуйидагиларни ўз ичига олади: усулнинг универсаллиги, яъни ҳар қандай объектни таҳлил қилиш схемаларининг умумийлиги, тезлик, таърифлар ва уларни автоматлаштириш имконияти, юқори селективлик, баъзи элементларни бошқаларнинг иштирокида олдиндан ажратмасдан аниқлашга имкон беради, турли моддалар таркибидаги элементларнинг жуда кичик таркибини (изларини) аниқлаш беради.

Ҳозирда шуларни инобатга олган ҳолда дунё олимлари томонидан фойдали қазилмаларни башоратлашнинг ўнлаб усуллари таклиф этилди. Ушбу усуллар ёрдамида олинган натижалар ер остида рўй бераётган физик жараёнларни тушуниш, уларни кузатиш, ушбу жараёнларни ўзаро боғлиқлигининг физик ва математик моделларини қуриш учун муҳим ҳисобланади.

Ҳар хил геофизик сигналларни рақамли ишлаш ва тиклаш масалаларида математик модел қуриш учун параболик локал интерполяцион сплайн-функцияларни қўлланилиш ҳозирги вақтда амалий масалаларни ечишда долзарб ҳисобланади.

$S_n(f; x)$ функция n – локал интерполяцион сплайн функцияси дейилади, агар қуйидаги шартлар бажарилса: [1,2]

$$1. S_n(f; x) \in H_n[x_i, x_{i+1}],$$

$$2. S_n(x) \in C^m[a, b],$$

$$3. S_n(x_i) = f(x_i) \quad i = 0, n.$$

n – интерполяцион сплайн-функциянинг дефекти

$v = n - m$ сонига айтилади. Икки ўзгарувчили локал интерполяцион сплайн функциялар бир ўзгарувчили локал интерполяцион кубик сплайн функция асосида курилади ва хатоликларни баҳолаш, локал интерполяцион кубик сплайн функция хатолиги асосида баҳоланади. Параболик локаль интерполяцион сплайн-функцияни курилиши куйидагича амалга оширилади.

Берилган $D = [a, b] \times [c, d]$ соҳада куриш учун ушбу ораликларни ОХ ўқи бўйича N та, ОУ ўқи бўйича M та тенг бўлақларга бўлиб оламиз $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$

$$\Delta_x : a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b, \Delta_y : c = y_0 < y_1 < \dots < y_M = d$$

бу ерда h ва l қадамлари куйидагича танланади $h = x_{i+1} - x_i, i = 0, 1, \dots, N-1; l = y_{j+1} - y_j, j = 0, 1, \dots, M-1$.

Куйида келтирилган сеткани қараймиз: $\Delta^* = \Delta_x^* \times \Delta_y^*$

$$\Delta_x^* : x_{-1} < x_0 < x_1 < \dots < x_N < x_{N+1}, \Delta_y^* : y_{-1} < y_0 < y_1 < \dots < y_M < y_{M+1}$$

У ҳолда бизга $D^* = [a-h, b+h] \times [c-l, d+l]$ соҳа тегишли Δ^* – тўрдаги тугун нукталарда, функциянинг қийматлари маълум, яни:

$$f(x_i, y_j) = f_{ij}, i = -1, 0, 1, \dots, N, N+1, j = -1, 0, 1, \dots, M, M+1.$$

Юқорида қийматлар асосида D –соҳада $f(x, y)$ -функцияни интерполяциялайдиган параболик, локал интерполяцион сплайн-функцияси курилади.

$f(x, y)$ функцияни интерполяциялайдиган параболик интерполяцион сплайн-функция локал бўлганлиги учун $[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$ оралигида куйидаги f_{ij} функциянинг қийматлари асосида курилади:[3]

$$\begin{aligned} & (x_{i-1}, y_{j-1}), (x_{i-1}, y_j), (x_{i-1}, y_{j+1}), (x_{i-1}, y_{j+2}), \\ & (x_i, y_{j-1}), (x_i, y_j), (x_i, y_{j+1}), (x_i, y_{j+2}), \\ & (x_{i+1}, y_{j-1}), (x_{i+1}, y_j), (x_{i+1}, y_{j+1}), (x_{i+1}, y_{j+2}), \end{aligned}$$

Шуни таъкидлаш керакки, ўзгарувчилардан бирининг фикцирланган ўзгармас қиймати учун курилаётган сплайн бошқа ўзгарувчига нисбатан бир ўлчовли локал интерполяцион кубик сплайндир. Бу ерда x -фикцирланади, яни $x = x_i$ да локал интерполяцион кубик сплайн-функция $S_3(x_i, y)$ куйидаги шаклга эга бўлади:

$$S_3(x_i, y) = (1-u)Z_j(x_i, y) + uZ_{j+1}(x_i, y), \quad (1)$$

Бу ерда

$$Z_j(x_i, y) = -\frac{1}{2}u(1-u)f_{i,j-1} + (1-u^2)f_{ij} + \frac{1}{2}u(1+u)f_{i,j+1}, \quad (2)$$

$$Z_{j+1}(x_i, y) = \frac{1}{2}(1-u)(2-u)f_{ij} + u(2-u)f_{i,j+1} - \frac{1}{2}u(1-u)f_{i,j+2} \quad (3)$$

$Z_j(x_i, j), Z_{j+1}(x_i, j)$ параболалар мос равишда куйидаги

$$(x_i, y_{j-1}), (x_i, y_j), (x_i, y_{j+1}); (x_i, y_j), (x_i, y_{j+1}), (x_i, y_{j+2}),$$

$$u = \frac{y - y_j}{l}, l = y_{j+1} - y_j.$$

тугун нуқтадан ўтувчи параболалар ҳисобланади. (2) ва (3) ларни (1) га қўйиб маълум бир ихчамлашлардан сўнг қуйидагига эга бўламиз:

$$S_3(x_i, y) = -\frac{1}{2}u(1-u)^2 f_{i,j-1} + \frac{1}{2}(1-u)(2+2u-3u^2) f_{ij} + \frac{1}{2}u(1+4u-3u^2) f_{i,j+1} - \frac{1}{2}u^2(1-u) f_{i,j+2}, \quad (4)$$

$$j = \overline{0, M-1}, \quad 0 \leq u \leq 1.$$

ТАДҚИҚОТ НАТИЖАЛАРИ

Юқоридагилар асосида $x = x_{i-1}; x_{i+1}; x_{i+2}$. Фиксирланган ҳолларда қуйидаги бир ўзгарувчили сплайн-функцияларини ҳосил қиламиз [6,7]

$$S_3(x_{i-1}, y) = (1-u)Z_j(x_{i-1}, y) + uZ_{j+1}(x_{i-1}, y), \quad (5)$$

$$S_3(x_{i+1}, y) = (1-u)Z_j(x_{i+1}, y) + uZ_{j+1}(x_{i+1}, y), \quad (6)$$

$$S_3(x_{i+2}, y) = (1-u)Z_j(x_{i+2}, y) + uZ_{j+1}(x_{i+2}, y), \quad (7)$$

$S_3(x_{i-1}, y), S_3(x_i, y), S_3(x_{i+1}, y)$ ва $S_3(x_{i+2}, y)$ юқорида қурилган бир ўзгарувчили кубик сплайн-функциялар асосида, маълум бир ихчамлашлардан кейин қуйидаги икки ўзгарувчили интерполяцион сплайн-функцияни қуйидаги кўриниши ҳосил бўлади:

$$S_{3,3}(x, y) = -\frac{1}{2}t(1-t)^2 S_3(x_{i-1}, y) + \frac{1}{2}(1-t)S_3(x_i, y) + \frac{1}{2}t(1+4t-3t^2)S_3(x_{i+1}, y) - \frac{1}{2}t^2(1-t)S_3(x_{i+2}, y),$$

$$j = \overline{0, M-1}, \quad 0 \leq u \leq 1, \quad t = \frac{x-x_i}{h}, \quad u = \frac{y-y_j}{l}, \quad h = x_{i+1} - x_i, \quad l = y_{j+1} - y_j.$$

$S_3(x_{i-1}, y), S_3(x_i, y), S_3(x_{i+1}, y)$ ва $S_3(x_{i+2}, y)$ юқорида қурилган бир ўзгарувчили кубик сплайн-функцияларни қийматларини қўйиб

$$S_{3,3}(x, y) = -\frac{1}{2}t(1-t^2) \left[(1-u)Z_j(x_{i-1}, y) + uZ_{j+1}(x_{i-1}, y) \right] + \frac{1}{2}(1-t)(2+2t-3t^2) \left[(1-u)Z_j(x_i, y) + uZ_{j+1}(x_i, y) \right] + \frac{1}{2}t(1+4t-3t^2) \left[(1-u)Z_j(x_{i+1}, y) + uZ_{j+1}(x_{i+1}, y) \right] - \frac{1}{2}t^2(1-t) \left[(1-u)Z_j(x_{i+2}, y) + uZ_{j+1}(x_{i+2}, y) \right] \quad (8)$$

$$\text{Бу ерда } i = \overline{0, N-1}, \quad j = \overline{0, M-1}, \quad 0 \leq t \leq 1, \quad 0 \leq u \leq 1, \quad t = \frac{x-x_i}{h}, \quad u = \frac{y-y_j}{l}, \quad h = x_{i+1} - x_i,$$

$$l = y_{j+1} - y_j.$$

маълум бир ихчамлашлардан кейин параболлик локал интерполяцион сплайн-функцияни ҳосил қилинди:

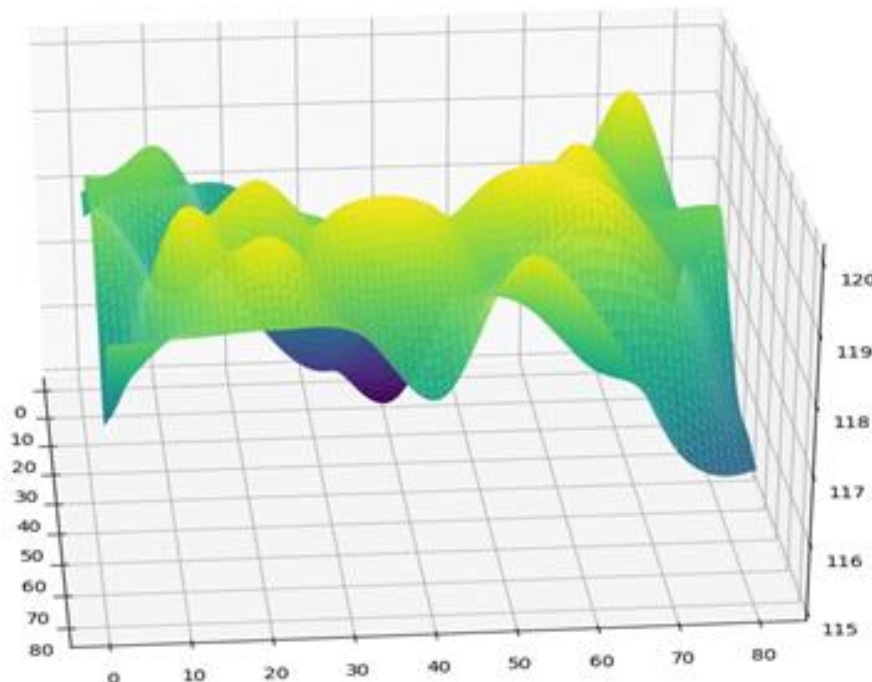
$$S_{3,3}(x, y) = \varphi_1(t) \left[\varphi_1(u) f_{i-1,j-1} + \varphi_2(u) f_{i-1,j} + \varphi_3(u) f_{i-1,j+1} + \varphi_4(u) f_{i-1,j+2} \right] + \varphi_2(t) \left[\varphi_1(u) f_{i,j-1} + \varphi_2(u) f_{i,j} + \varphi_3(u) f_{i,j+1} + \varphi_4(u) f_{i,j+2} \right] + \varphi_3(t) \left[\varphi_1(u) f_{i+1,j-1} + \varphi_2(u) f_{i+1,j} + \varphi_3(u) f_{i+1,j+1} + \varphi_4(u) f_{i+1,j+2} \right] + \varphi_4(t) \left[\varphi_1(u) f_{i+2,j-1} + \varphi_2(u) f_{i+2,j} + \varphi_3(u) f_{i+2,j+1} + \varphi_4(u) f_{i+2,j+2} \right] \quad (9)$$

$$\text{Бу ерда } \varphi_1(t) = -\frac{1}{2}t(1-t)^2, \quad \varphi_2(t) = \frac{1}{2}(1-t)(2+2t-3t^2),$$

$$\varphi_3(t) = \frac{1}{2}t(1+4t-3t^2), \quad \varphi_4(t) = -\frac{1}{2}t^2(1-t)$$

МУҲОКАМА

Бугунги кунда геофизик сигналларни қайта тиклаш, уларни аниқлаш муҳим масалалардан биридир. Биз юқорида ишлаб чиқилган модел асосида геофизик сигналларни тиклаш, қайта ишлаш ва аниқлашни амалга оширувчи дастур ишлаб чиқдик.



1-расм. Геофизик майдонни (0.01x0.01) қадам билан олинган натижанинг график кўриниши

Биз ишлаб чиққан модел ёрдамида икки ўзгарувчили геофизик майдон моделлаштирилди ва модел ёрдамида дастур қилинди. Юқоридаги тасвир дастурдан олинган натижанинг график кўринишидаги тасвиридир, бу тасвирда биз геофизик майдонни (0.01x0.01) қадамги аниқликда кўришимиз мумкин.

ХУЛОСА

Геофизик майдон сигналларини қайта тиклаш ва уларга рақамли ишлов беришда параболик локал интерполяцияцион сплайн-функцияси асосида интерполяциялаш масаласини қўллаш муҳим аҳамият касб этади. Геофизик сигналларининг хусусиятлари ўрганилиди ва параболик локал интерполяцияцион сплайн-функцияси асосида модели курилиб интерполяциялаш жараёни амалга оширилди ва геофизик майдон сигналларини спектрал таҳлили асосида майдоннинг қайси нуқтасида қазилма бойликлари кўп жойлашган таҳлили кўриб чиқилди. Ушбу ишда геофизик сигналларини қайта тиклаш ва уларга рақамли ишлов бериш орқали даракчи сифатида ернинг электромагнит, гравитацион майдонларидаги аномал ўзгаришлар, ионосферадаги аномал ўзгаришлар, сейсмик ҳолатлар (шумлар), турли акустик тебранишлардан фойдаланиш мумкинлиги кўриб чиқилди. Натижага кўра сплайн функциялари сигналларни интерполяциялаш масаласида аниқлиги юқори эканлигини кўрсатди буни (1-расм) дан ҳам кўришимиз мумкин. Шу билан бирга (3-расм) спектрал таҳлил натижасида олинган натижани кўриш мумкин. Бундан келиб чиқиб биз мақолада интерполяцияцион сплайн-функцияси моделларидан ва сигналларни спектрал таҳлилида сплайн-функциясидан фойдаланиш яхши самара бериши кўрсатилди.

АДАБИЁТЛАР

1. Зайнидинов Х.Н., Бахрамов С.А., Кўчкарров М.А. Методы моделирования тепловых полей бикубическими сплайнами. автоматика и программная инженерия. 2018, №1(23) ht tp: //www.jurnal.nips.ru.
2. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко И.Л. Методы сплайн - функций. - М.: Наука, 1980. 352 с.
3. Исраилов М.И., Бахрамов С.А. Об одном локальном интерполяционном кубическом сплайне и некоторые его приложения // Тезисы докладов III семинара - совещания Кубатурные формулы и их приложения. Уфа - Красноярск, 1995 г. - С.17. (9-13 октябрь, 1995 г.)
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. - 2-е. - СПб: Питер, 2006. - 751 с.
5. Свиныин С.Ф., Зайнидинов Х.Н. Комплекс программ для исследования геофизических полей. Тезисы докл. Международной конференции «Региональная информатика». Санкт-Петербург, 22-24 июня, 2004.-С.244.
6. Свиныин С.Ф. Базисные сплайны в теории отсчётов сигналов.-СПб.: Наука, 2003. – 118с.
7. Свиныин С.Ф. Дискретизация на основе локальных сплайнов при измерениях сигналов конечной длительности. // Метрология. –1998. -№4. –С.28-33.
8. Зайнидинов Х.Н., Бахрамов С.А., Азимов Б.Р. Биомедицина сигналларни интерполяцион кубик сплайн моделларини куриш // «Muhammad al-Xorazmiy avlodlari» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали. – Тошкент, № 4 (10), декабрь 2019, Б. 14-17.
9. Зайнидинов Х.Н., Бахрамов С.А., Кўчкарров М.А. Геофизик сигналларни моделлаштиришнинг сплайн-усули. “МУХАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАРИ” илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали, № 2 (12), 2020. Тошкент.-С.35-39
10. Азимов Б.Р. Тенгмас ораликлар учун кубик сплайн куриш ва сигналларга тадбиқи // «Меъморчилик ва курилиш муаммолари» илмий-техника журнали. – Самарқанд, №1 (2), 2020. Б. 66-70.
11. Djananjay Singh, Madhusudan Singh, Hakimjon Zaynidinov “Signal Processing Applications Using Multidimensional Polynomial Splines”, Springer Briefs in Applied Sciences and Technology Series, Springer, Singapore. ISBN-978-981-13-2238-9. 2019.
12. Hakimjon Zaynidinov, Madhusudan Singh, Dhananjay Singh Polynomial Splines for Digital Signal and Systems (Монография на английском языке). LAMBERT Academic publishing, Germany, 2016 year, 208 p.
13. Zaynidinov H.N., Jovliev S. Modeling Specialized Processor Signal Processing Based on Haar Wavelet. Proceedings of International Conference on IT Promotion in Asia 2011, September, 26-27, 2011, p. 314-318, Tashkent, Uzbekistan.