

ISSN 2518-1467 (Online),
ISSN 1991-3494 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Ш Ы С Ы

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА
PUBLISHED SINCE 1944

1

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2017

ҚАҢТАР
ЯНВАРЬ
JANUARY

Б а с р е д а к т о р ы

х. ғ. д., проф., ҚР ҰҒА академигі

М. Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абиев Р.Ш. проф. (Ресей)
Абишев М.Е. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Аврамов К.В. проф. (Украина)
Аппель Юрген проф. (Германия)
Баймуқанов Д.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Байпақов К.М. проф., академик (Қазақстан)
Байтулин И.О. проф., академик (Қазақстан)
Банас Иозеф проф. (Польша)
Берсимбаев Р.И. проф., академик (Қазақстан)
Велихов Е.П. проф., РҒА академигі (Ресей)
Гашимзаде Ф. проф., академик (Әзірбайжан)
Гончарук В.В. проф., академик (Украина)
Давлетов А.Е. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Джрбашян Р.Т. проф., академик (Армения)
Қалимолдаев М.Н. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Лаверов Н.П. проф., академик РАН (Россия)
Лупашку Ф. проф., корр.-мүшесі (Молдова)
Мохд Хасан Селамат проф. (Малайзия)
Мырхалықов Ж.У. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Новак Изабелла проф. (Польша)
Огарь Н.П. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Полещук О.Х. проф. (Ресей)
Поняев А.И. проф. (Ресей)
Сагиян А.С. проф., академик (Армения)
Сатубалдин С.С. проф., академик (Қазақстан)
Таткеева Г.Г. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Умбетаев И. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Хрипунов Г.С. проф. (Украина)
Якубова М.М. проф., академик (Тәжікстан)

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Хабаршысы».

ISSN 2518-1467 (Online),

ISSN 1991-3494 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы»РҚБ (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5551-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 2000 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д. х. н., проф. академик НАН РК
М. Ж. Журинов

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абиев Р.Ш. проф. (Россия)
Абишев М.Е. проф., член-корр. (Казахстан)
Аврамов К.В. проф. (Украина)
Апель Юрген проф. (Германия)
Баймуканов Д.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Байпаков К.М. проф., академик (Казахстан)
Байтулин И.О. проф., академик (Казахстан)
Банас Иозеф проф. (Польша)
Берсимбаев Р.И. проф., академик (Казахстан)
Велихов Е.П. проф., академик РАН (Россия)
Гашимзаде Ф. проф., академик (Азербайджан)
Гончарук В.В. проф., академик (Украина)
Давлетов А.Е. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Джрбашян Р.Т. проф., академик (Армения)
Калимолдаев М.Н. проф., чл.-корр. (Казахстан), зам. гл. ред.
Лаверов Н.П. проф., академик РАН (Россия)
Лупашку Ф. проф., чл.-корр. (Молдова)
Моход Хасан Селамат проф. (Малайзия)
Мырхалыков Ж.У. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Новак Изабелла проф. (Польша)
Огарь Н.П. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Полещук О.Х. проф. (Россия)
Поняев А.И. проф. (Россия)
Сагьян А.С. проф., академик (Армения)
Сатубалдин С.С. проф., академик (Казахстан)
Таткеева Г.Г. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умбетаев И. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Хрипунов Г.С. проф. (Украина)
Якубова М.М. проф., академик (Таджикистан)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан».

ISSN 2518-1467 (Online),
ISSN 1991-3494 (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK

M. Zh. Zhurinov

E d i t o r i a l b o a r d:

Abiyev R.Sh. prof. (Russia)
Abishev M.Ye. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Avramov K.V. prof. (Ukraine)
Appel Jurgen, prof. (Germany)
Baimukanov D.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Baipakov K.M. prof., academician (Kazakhstan)
Baitullin I.O. prof., academician (Kazakhstan)
Joseph Banas, prof. (Poland)
Bersimbayev R.I. prof., academician (Kazakhstan)
Velikhov Ye.P. prof., academician of RAS (Russia)
Gashimzade F. prof., academician (Azerbaijan)
Goncharuk V.V. prof., academician (Ukraine)
Davletov A.Ye. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Dzhrbashian R.T. prof., academician (Armenia)
Kalimoldayev M.N. prof., corr. member. (Kazakhstan), deputy editor in chief
Laverov N.P. prof., academician of RAS (Russia)
Lupashku F. prof., corr. member. (Moldova)
Mohd Hassan Selamat, prof. (Malaysia)
Myrkhalykov Zh.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Nowak Isabella, prof. (Poland)
Ogar N.P. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Poleshchuk O.Kh. prof. (Russia)
Ponyaev A.I. prof. (Russia)
Sagiyani A.S. prof., academician (Armenia)
Satubaldin S.S. prof., academician (Kazakhstan)
Tatkeyeva G.G. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umbetayev I. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Khripunov G.S. prof. (Ukraine)
Yakubova M.M. prof., academician (Tadjikistan)

Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2518-1467 (Online),

ISSN 1991-3494 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

D. S. Rakisheva, T. Mirgalikyzy, B. G. Mukanova

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: dilya784@mail.ru, m_t85@mail.ru, mbsha01@gmail.com

THE METHOD OF RADIAL BASIC FUNCTIONS FOR APPROXIMATION OF GROUND SURFACE RELIEF

Abstract. Approximation shaped surface of the medium is a necessary step for the numerical modeling in electrical tomography. Radial basis functions (RBF) method is a new technique currently used to approximate the surface of media based on a discrete set of the coordinates of points lying on that surface. The paper describes the use of the radial basis functions method for the interpolation of the ground surface relief in the problem of electrical sounding. A comparison of the results for different radial functions is provided.

Key words: electrical sounding, radial basic functions, interpolation, approximation of relief form.

УДК 004.94

Д. С. Ракишева, Т. Миргаликызы, Б. Г. Муканова

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

АППРОКСИМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ RBF

Аннотация. Для численного моделирования в задачах электрического зондирования нужно аппроксимировать дневную поверхность Земли. В статье описывается реализация метода радиально базисных функций для аппроксимации рельефа дневной поверхности. Приводятся численные эксперименты аппроксимации на модельных задачах и тестирование полученных результатов, подтверждающие эффективность применения радиально базисных функций.

Ключевые слова: задача электрического зондирования, радиально базисные функции, интерполяция поверхностей, метод RBF.

Введение. Численный алгоритм решения интегрального уравнения для прямой задачи зондирования над однородной средой с рельефом дневной поверхности был реализован для модельных форм рельефа, задаваемых аналитически. В практических приложениях параметры рельефа определяются шагом по профилю (расстояние между электродами) и высотами приемных электродов, расположенных вдоль исследуемого профиля, измеренными в полевых условиях. На основе этих данных требуется построить функцию рельефа поверхности. Эта функция должна удовлетворять требованиям, необходимым для численной реализации метода интегральных уравнений. Во-первых, для каждой точки поверхности должна быть определена нормаль к поверхности, кроме этого, необходимо, чтобы в промежуточных точках функция не имела изломов и больших градиентов. Как показано в работе [1], наличие изломов поверхности ведет к появлению паразитных нефизических аномалий на кривых зондирования, что крайне нежелательно для дальнейшей интерпретации. Самым благоприятным для численного расчета является случай, если поверхность удастся представить единой формулой в виде некоторой гладкой функции относительно простого вида. При этом мы должны обеспечить условие жесткой аппроксимации, т.е. наша поверхность должна проходить через заданные точки (высоты).

Для одномерных данных существует много методов решения таких проблем, а для 3D-мерного случая выбор методов намного суживается. Допустим, что мы хотим аппроксимировать поверхность в виде линейной комбинации некоторых базисных функций. Можно показать, что для любого набора базисных функций $\{\phi_i(x)\}_{i=1}^n$, ($n>1$) (не зависимо от точек данных), существует множество различных точек $\{x_i\}_{i=1}^n$ таких, что линейная система уравнений для определения коэффициентов λ_i становится сингулярной. Этот результат называют теоремой Хаара. Эту проблему можно обойти, следуя другим подходам к построению интерполирующей функции. Вместо того, чтобы брать линейные комбинации из набора базисных функций, которые не зависят от точек данных, необходимо чтобы базис формировался из сдвигов одной базисной функции, которая симметрична относительно центра. Этот подход впервые использовал Р.Л.Харди [2], он назвал его методом радиально базисных функций (RBF - Radial basis functions). Харди использовал данный метод для того, чтобы решить задачу картографии, а именно, учитывая множество редких рассеянных измерений от некоторых исходных точек на топографической поверхности, построить «удовлетворительно» непрерывную функцию, которая представляет эту поверхность. Так как радиальные базисные функции основаны на жесткой интерполяции, их начали применять для создания сглаженных поверхностей. Использование радиальных базисных функций для аппроксимации многомерных поверхностей было предложено и применено в работе [3].

Метод радиально базисных функций (RBF) для аппроксимации рельефа дневной поверхности. Общая идея метода [4-6] заключается в том, что для заданного набора n точек и $\{x_i\}_{i=1}^n$ соответствующих значений $\{f_i\}_{i=1}^n$ выбирается набор базисных функций $\{\phi_i(x)\}_{i=1}^n$ таким образом, что линейная комбинация этих функций удовлетворяет условиям интерполяции. Искомая функция $f(x)$ ищется в виде:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \phi_i(x),$$

таким образом, что в узлах сетки выполняется равенство

$$f(x_i) = f_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Условия интерполяции приводят к системе линейных уравнений, определяющей коэффициенты λ_i . В методе RBF интерполирующая функция задается по формуле

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \phi(|x - x_i|),$$

где $\phi(r)$, $r \geq 0$, функция одной переменной, зависящая только от расстояния между точками x и x_i . Согласно [2], в качестве радиальной функции $\phi(r)$ могут быть использованы следующие функции: гауссиан $\exp(-\varepsilon^2 r^2)$, обратная к квадратичной $(1 + \varepsilon^2 r^2)^{-1}$, обратная к корню из квадратичной $(1 + \varepsilon^2 r^2)^{\frac{1}{2}}$, пропорциональная корню из квадратичной $(1 + \varepsilon^2 r^2)^{\frac{1}{2}}$, линейная r , кубическая r^3 , а также функция $r^2 \ln(r)$.

Коэффициенты λ_i определяются из интерполяционных условий (1), которые приводят к системе линейных уравнений с симметричной матрицей:

$$A \lambda = f, \quad (2)$$

где элементы матрицы \hat{A} задаются в виде:

$$A_{i,j} = \phi(|x_i - x_j|).$$

Приведем формулы реализации метода RBF при интерполировании поверхностей (трехмерный случай). Для заданного набора n точек плоскости Oxy $\{x_i\}$ ($i = \overline{1, n}$) и соответствующих значений $\{f_i\}_{i=1}^n$ строится интерполирующая функция $s(x, y)$ двух переменных.

Тогда интерполирующая функция имеет вид:

$$s(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \phi(\|(x, y) - x_i\|), \quad (3)$$

где используются те же, что и в одномерном случае радиальные функции ϕ , а знак $\|\cdot\|$ означает евклидову норму вектора. Коэффициенты λ_i составляют вектор решения СЛАУ из формулы (2), где

$$A_{i,j} = \phi(\|x_i - x_j\|), (i, j = \overline{1, n}). \quad (4)$$

Простая форма метода делает его реализацию чрезвычайно простой. Полученная таким образом аппроксимация позволит описать рельеф единообразными аналитическими формулами.

Результаты численных экспериментов. На основе предложенного выше метода было проведено несколько численных экспериментов на модельных задачах и построены графики интерполирующих функций.

Для точек $(kh, lh), (k = \overline{-25, 25}, l = \overline{-25, 25})$ в качестве модельной задачи для аппроксимации трехмерных поверхностей была выбрана следующая функция $\sin(x + y^2) + \cos(x^2 + y)$;

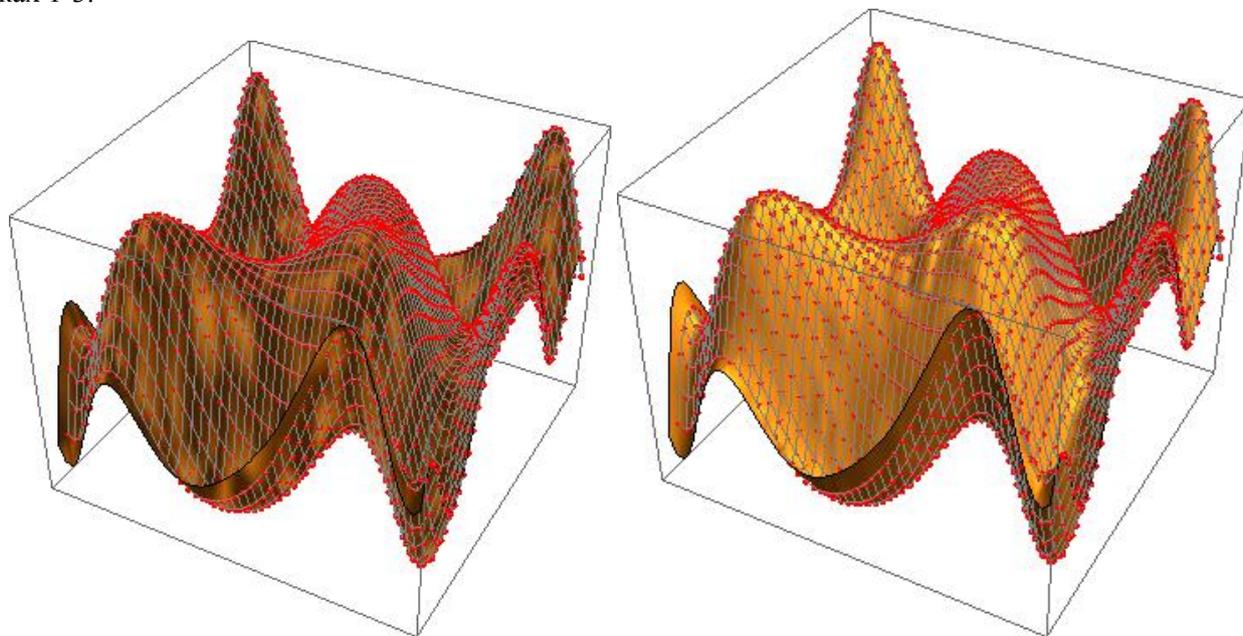
Для тестирования полученных результатов мы определяли максимальное отклонение от интерполирующей функции в узлах для каждой радиальной базисной функции

$$\Delta = \max |RBF(\{x_i\}, \{y_i\}, \{z_i\}) - z_i|, 1 \leq i \leq n.$$

Функции для расчета коэффициентов задавались на грубой сетке, а результаты расчетов сравнивались на мелкой сетке и вычислялись отклонения от аналитически заданных значений.

Для применения формул метода RBF введем обозначения $x_i = (k \cdot h, l \cdot h)$, где $i = (k + m) \cdot (2m + 1) + l + m$. Значения $\{f_i\}_{i=1}^n$ вычисляются по аналитической формуле соответствующей модельной задаче. На графиках приведены численные результаты для шага $h = 0.1$ и $m = 25, n = (m + 1)^2, \varepsilon = 1.0$.

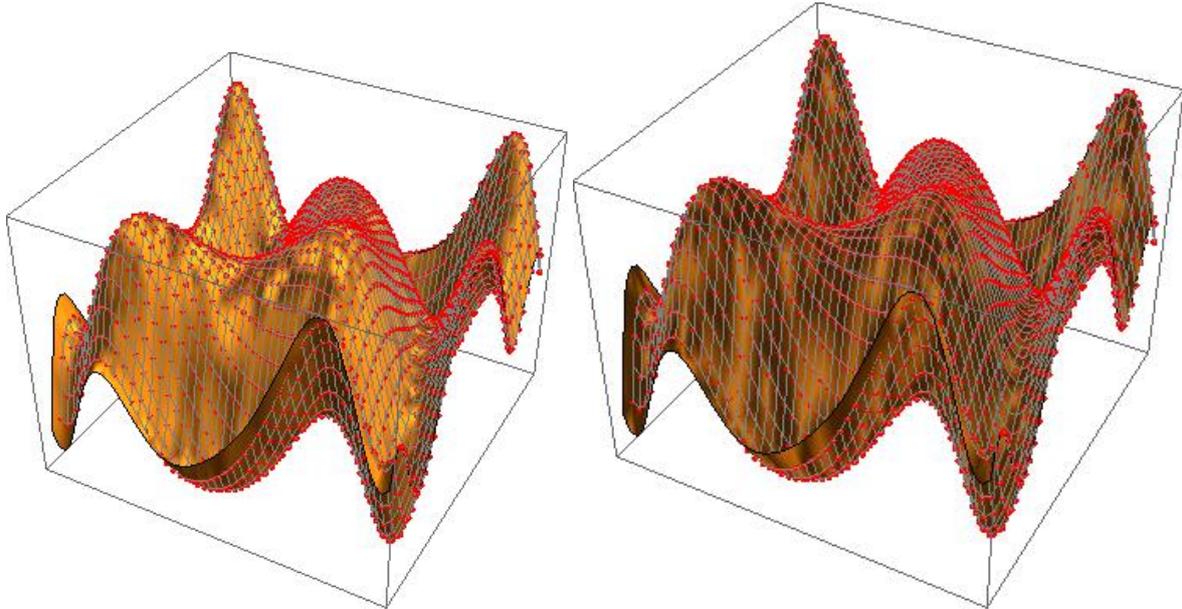
Для функции $\sin(x + y^2) + \cos(x^2 + y)$ программа выдала результаты показанные на рисунках 1-3.



а – $\phi(r) = \exp(-\varepsilon^2 r^2), \Delta = 0.00082944$

б – $\phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{-1}, \Delta = 9.69069 * 10^{-8}$

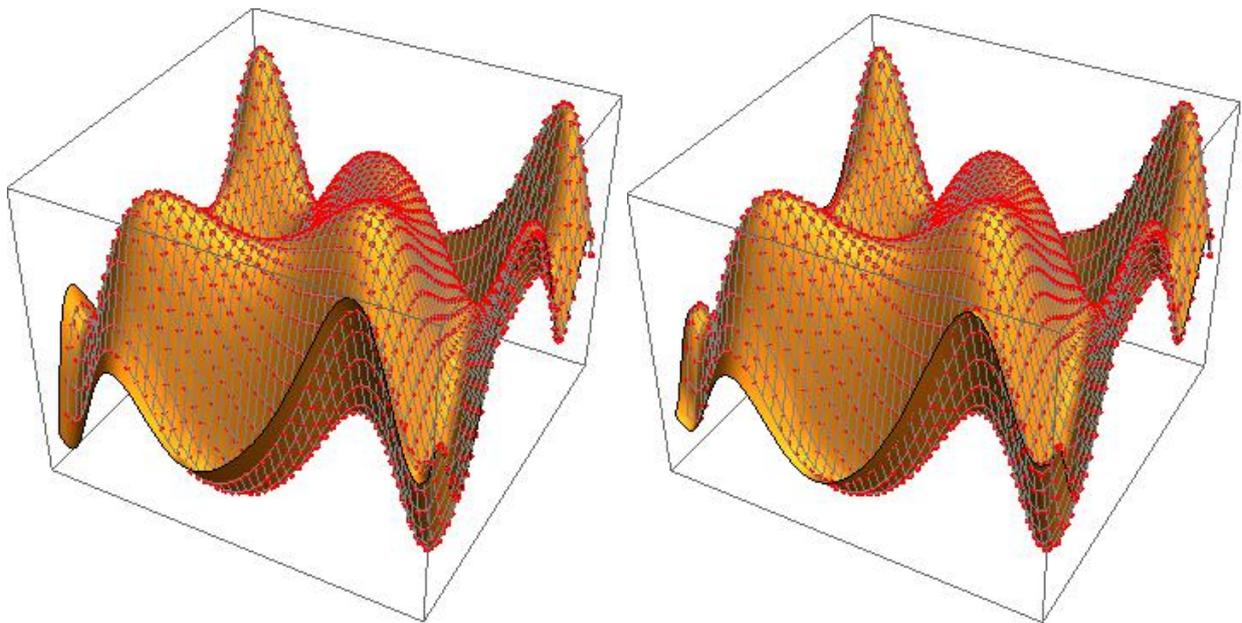
Рисунок 1 – Аппроксимация при помощи радиальных базисных функций:
а – Гауссиан; б – Обратная к квадратичной



$$a - \phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{-\frac{1}{2}}, \Delta = 2,22736 * 10^{-7}$$

$$б - \phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{\frac{1}{2}}, \Delta = 0.0000208555$$

Рисунок 2 – Аппроксимация при помощи радиальных базисных функций:
а – Обратная к корню из квадратичной; б – пропорциональная корню из квадратичной



$$a - r, \Delta = 1.71529 * 10^{-13}$$

$$б - r^3, \Delta = 4.14393 * 10^{-11}$$

Рисунок 3 – Аппроксимация при помощи радиальных базисных функций:
а – линейная; б – кубическая

Значения $\{f_i\}_{i=1}^n$ в узлах сетки $\{x_i\}_{i=1}^n$ выделены на графиках красным цветом. Интенсивность окраски на рисунках 1 а), 2 а), б) для функций $\phi(r) = \exp(-\varepsilon^2 r^2)$, $\phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{-\frac{1}{2}}$, $\phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{\frac{1}{2}}$ является следствием влияния плохой обусловленности матрицы A (т.е. значе-

ние $cond(A) = \|A\| \|A^{-1}\| \gg 1$) из формулы (4) на решение системы (2). Однако выбор радиальных функций $\phi(r) = (1 + \varepsilon^2 r^2)^{-1}, r, r^3$ является удачным (рисунки 1 б), 3 а), б)), гладкость интерполирующей функции $s(x, y)$ обеспечивает хорошая обусловленность соответствующих матриц.

Выводы. Метод радиально базисных функций был реализован при разработке алгоритма автоматического построения адаптивной сетки, с учетом геометрии измерительной установки для аппроксимации рельефа дневной поверхности. Выполнены численные эксперименты аппроксимации на модельных задачах и тестирование полученных результатов, показывающие эффективность применения радиально базисных функций. На практике для построения интерполирующей функции для аппроксимации рельефа методом RBF есть возможность выбрать подходящую радиальную функцию, подбирая требуемую гладкость формы поверхности для решения задачи электрического зондирования постоянным током методом интегральных уравнений.

Работа поддержано грантом МОН РК № гос. регистрации 0115РК01424.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чантуришвили Л.С. О количественном учете влияния рельефа для некоторых случаев разведки постоянным током // Труды Института геофизики. – Тбилиси, 1955. – Т. 14. – С. 199-209.
- [2] Grady B. Wright Radial Basis Function Interpolation: Numerical and Analytical Developments // Doctoral Dissertation. – Colorado, 2003. – 155 p.
- [3] Broomhead D.H., Lowe David Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks // Complex Systems. – 1988. – N 2. – P. 321-335.
- [4] Michael Mongillo Choosing Basis Functions and Shape Parameters for Radial Basis Function Methods. – October 25, 2011. – URL: <https://www.siam.org/students/siuo/vol4/S01084.pdf>
- [5] Xin Yin, Weiwei Xu, Ryo Akama and Hiromi T. Tanaka A Synthesis of 3-D Kabuki Face from Ancient 2-D Images Using Multilevel Radial Basis Function. – URL: <http://www.art-science.org/journal/v7n1/v7n1pp14/artsci-v7n1pp14.pdf>
- [6] Nail A. Gumerov, Ramani Duraiswami Fast Radial Basis Function interpolation via preconditioned Krylov Iteration. – URL: <http://www.umiacs.umd.edu/~ramani/pubs/GumerovDuraiswamiIterativeRBF06.pdf>
- [7] Orunkhanov M.K., Mukanova B.G., Sarbasova B.K. Numerical implementation of method of potentials for sounding above an inclined plane. // Computational technologies. – 2004. – Vol. 9. – P. 45-48.
- [8] Orunkhanov M., Mukanova B. The integral equations method in problems of electrical sounding // In book: Advances in High Performance Computing and Computational Sciences. – Springer-Berlin-Heidelberg, 2006. – P. 15-21.
- [9] Mirgalikyzy T., Mukanova B., Modin I. Method of Integral Equations for the Problem of Electrical Tomography in a Medium with Ground Surface Relief // Journal of Applied Mathematics. – 2015.
- [10] Mukanova B., Mirgalikyzy T. The Solution of the Direct Problem of Electrical Prospecting with Direct Current under Conditions of Ground Surface Relief // World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. – 2015. – N 4(9). – P. 234-237.
- [11] Муканова Б.Г., Миргаликызы Т. Интегральное уравнение для решения прямой задачи зондирования над средой с рельефом дневной поверхности // Вестник КазНТУ им. К. Сатпаева. – 2015. – № 5. – С. 561-565.
- [12] Mukanova B., Mirgalikyzy T. Modeling the impact of relief boundaries in solving the direct problem of direct current electrical sounding // Communications in Computer and Information Science. Mathematical Modeling of Technological Processes: International Conference, CITech-2015. – Almaty, Kazakhstan, September 24-27, 2015. – Proceedings, Springer. – 2015. – P. 117-123.

REFERENCES

- [1] Chanturishvili L.S. Account of the quantitative impact of relief for some cases intelligence DC. Proceedings of the Institute of Geophysics, **1955**. Vol. 14. P. 199-209 (in Russ.).
- [2] Grady B. Wright. Radial Basis Function Interpolation: Numerical and Analytical Developments. Doctoral Dissertation, 2003. 155 p. (in Eng.).
- [3] Broomhead D.H., Lowe David Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks. Complex Systems, **1988**. N. 2. P. 321-335 (in Eng.).
- [4] Michael Mongillo Choosing Basis Functions and Shape Parameters for Radial Basis Function Methods, **2011** (in Eng.).
- [5] Xin Yin, Weiwei Xu, Ryo Akama and Hiromi T. Tanaka. A Synthesis of 3-D Kabuki Face from Ancient 2-D Images Using Multilevel Radial Basis Function (in Eng.).
- [6] Nail A. Gumerov, Ramani Duraiswami Fast Radial Basis Function interpolation via preconditioned Krylov Iteration. (in Eng.).
- [7] Orunkhanov M.K., Mukanova B.G., Sarbasova B.K.. Numerical implementation of method of potentials for sounding above an inclined plane. Computational technologies, **2004**, Vol. 9. P. 45-48. (in Eng.).
- [8] Orunkhanov M., Mukanova B. The integral equations method in problems of electrical sounding. Advances in High Performance Computing and Computational Sciences. Springer-Berlin-Heidelberg, **2006**. P.15-21. (in Eng.).

[9] Mirgalikyzy T., Mukanova B., Modin I. Method of Integral Equations for the Problem of Electrical Tomography in a Medium with Ground Surface Relief. *Journal of Applied Mathematics*, **2015**. (in Eng.).

[10] Mukanova B., Mirgalikyzy T. The Solution of the Direct Problem of Electrical Prospecting with Direct Current under Conditions of Ground Surface Relief. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, **2015**, N 4(9). P. 234-237. (in Eng.).

[11] Mukanova B.G., Mirgalikyzy T. Integral equation for solving the direct problem of sensing the environment with the ground surface topography. *Bulletin of KazNTU. K. Satpaev*, **2015**, N 5. P. 561-565. (in Russ.)

[12] Mukanova B.G., Mirgalikyzy T. Modeling the impact of relief boundaries in solving the direct problem of direct current electrical sounding. *Communications in Computer and Information Science. Mathematical Modeling of Technological Processes*, **2015**. P.117-123. (in Eng.).

Д. С. Ракишева, Т. Мирғалиқызы, Б. Г. Муканова

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

ЖЕР БЕТІ БЕДЕРІН RBF ӘДІСІ АРҚЫЛЫ АППРОИМАЦИЯЛАУ

Аннотация. Мақалада жер беті формасының аппроксимациясы қарастырылған. Электрлік томография есептерінде сандық моделдеу үшін ортаның бетінің формасын аппроксимациялау қажет. Қазіргі кезде ортаның бетінде жатқан нүктелер координаттарының дискретті жиыны арқылы беттің формасын жуықтау үшін радиал базисты функциялар (RBF) әдісі қолданылады. Бұл жұмыста электрлік зондтау есебі үшін осы амалды Жер бетінің қыртысының формасын жуықтауда қолданысы көрсетілген. Әр түрлі радиал функциялар үшін есептеу нәтижелері салыстырылған.

Түйін сөздер: электрлік зондтау, радиал базистік функциялар, интерполяция, RBF әдісі.

Сведения об авторах:

Ракишева Диляра Советовна – магистр МКМ, старший преподаватель кафедры математического и компьютерного моделирования, Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, dilya784@mail.ru

Мирғалиқызы Толкын – доктор философии (PhD) по специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение», и.о.доцента кафедры Вычислительной техники Факультета информационных технологий, Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, m_t85@mail.ru

Муканова Балгайша Гафуровна – доктор физико-математических наук, профессор Факультета информационных технологий, Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, mbsha01@gmail.com

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1467 (Online), ISSN 1991-3494 (Print)

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т. М. Апендиев*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 24.02.2017.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
12,4 п.л. Тираж 2000. Заказ 1.