

Исследование алгоритмов
построения локальных карт полного
электронного содержания по данным
спутникового зондирования
ионосферы

Выполнил: студент группы ФРМ-4020

Сустанов Алексей Викторович

Научный руководитель: к.т.н., зав. НИЛ-232

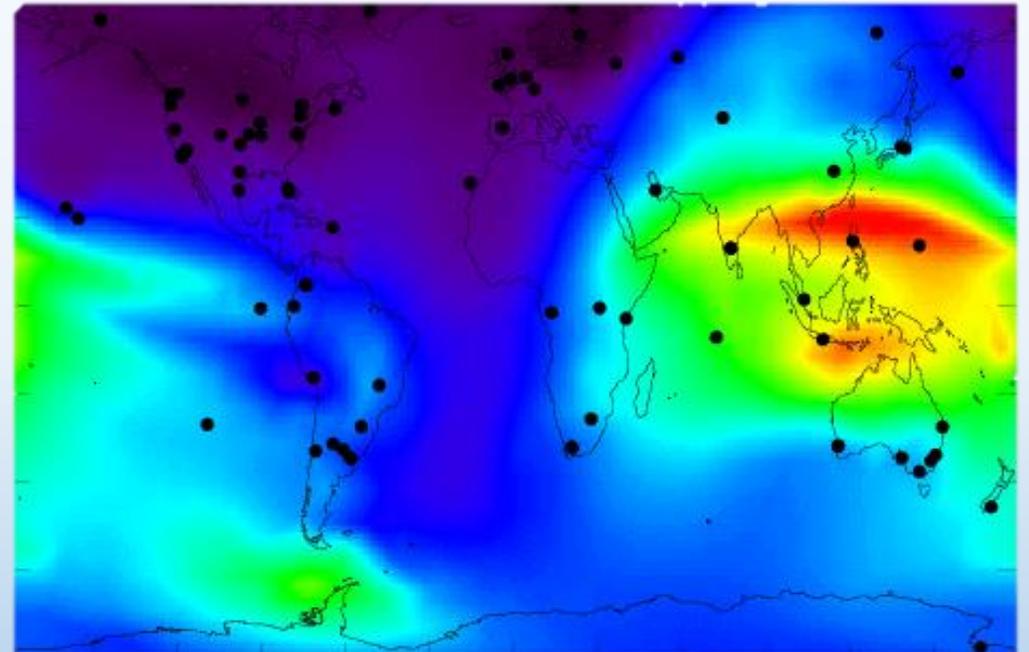
Сидоренко Клим Андреевич

Актуальность

Полное электронное содержание (ПЭС) – характеристика ионосферы, определяемая как количество электронов в вертикальном столбе единичной площади

Интерполяция - процесс, позволяющий по значениям в известных точках (узлах) построить такую функцию, называемую интерполянтom, которая совпадала бы в этих точках с известными значениями и позволяла бы приближённо вычислять значения в других точках

Карта ПЭС – зависимость значений полного электронного содержания от географических координат



Цели и задачи

Цель: исследование методов интерполяции, применяемых для построения карт ПЭС с выявлением особенностей и ограничений в применении

Задачи:

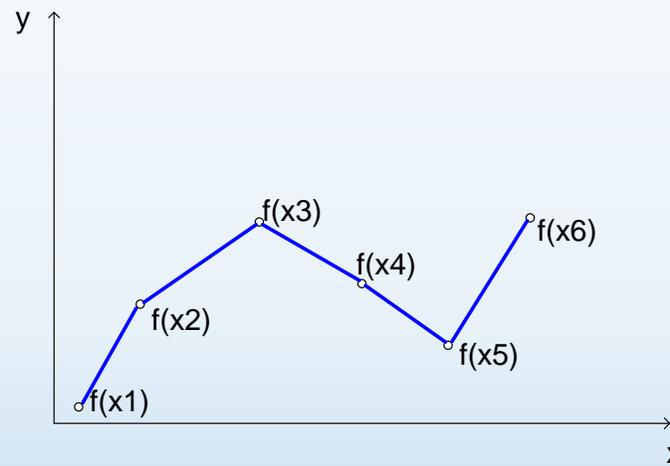
1. Изучить литературу по построению карт ПЭС и методам интерполяции, определить методы для дальнейшего исследования.
2. Смоделировать в среде MatLab выбранные методы, сравнить их по уровню СКО, быстродействию.
3. Сделать выводы на основе полученных данных по СКО и быстродействию, дать рекомендации по применению методов.

Линейный метод интерполяции

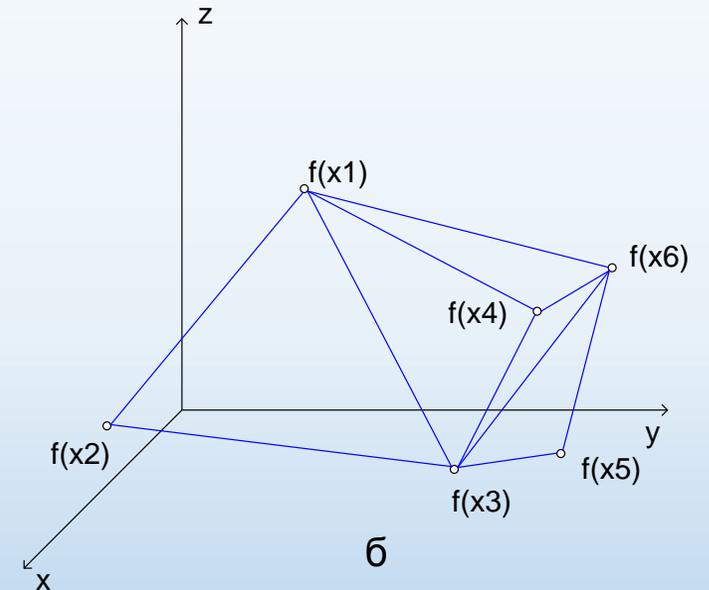
Линейный метод интерполяции основан на приближении функции n переменных множеством многоугольников с вершинами в $n+1$ точках

$$ПЭС = \frac{a}{c} \Phi + \frac{b}{c} \Theta + \frac{d}{c}$$

- +Простой алгоритм
- +Высокое быстродействие
- Низкая точность



а



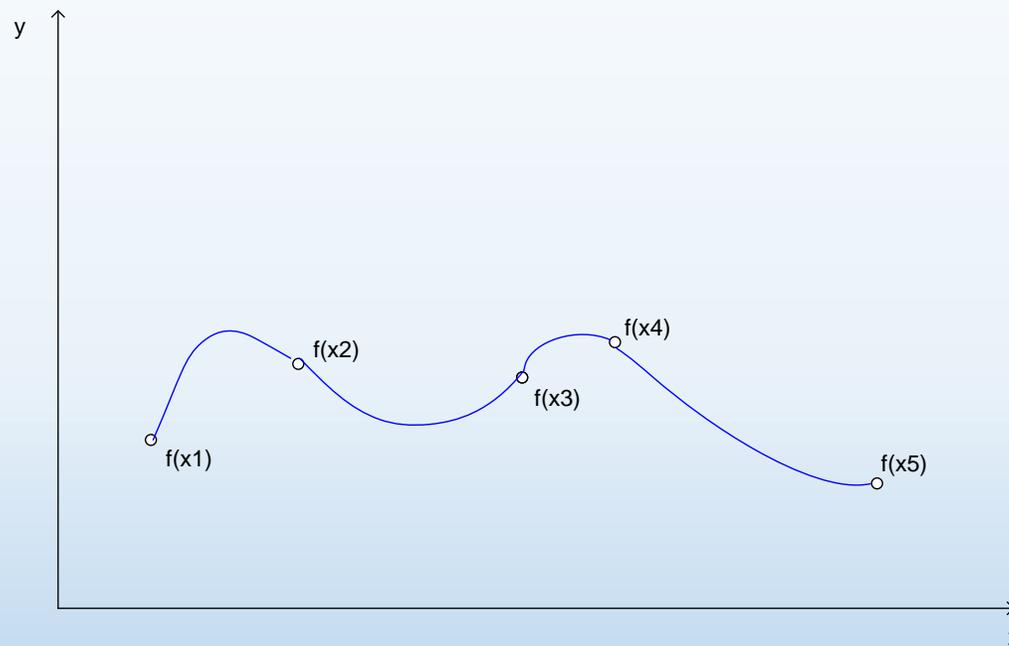
б

Сплайновый метод интерполяции

$$ПЭС(\Phi, \Theta) = \sum_{i=1}^I c_i r_i^2 \ln(r_i^2) + c_{I+1} + c_{I+2} \Phi + c_{I+3} \Theta \quad r_i = \sqrt{(\Phi - \phi_i)^2 + (\Theta - \theta_i)^2}$$

Сплайновый метод – метод интерполяции, основанный на приближении функции моделью упругого тела, закреплённого в узловых точках.

+Сбалансированность по критериям скорость/точность



Метод интерполяции естественной окрестности

$$ПЭС = \sum_{i=1}^I p_i ПЭС_i$$

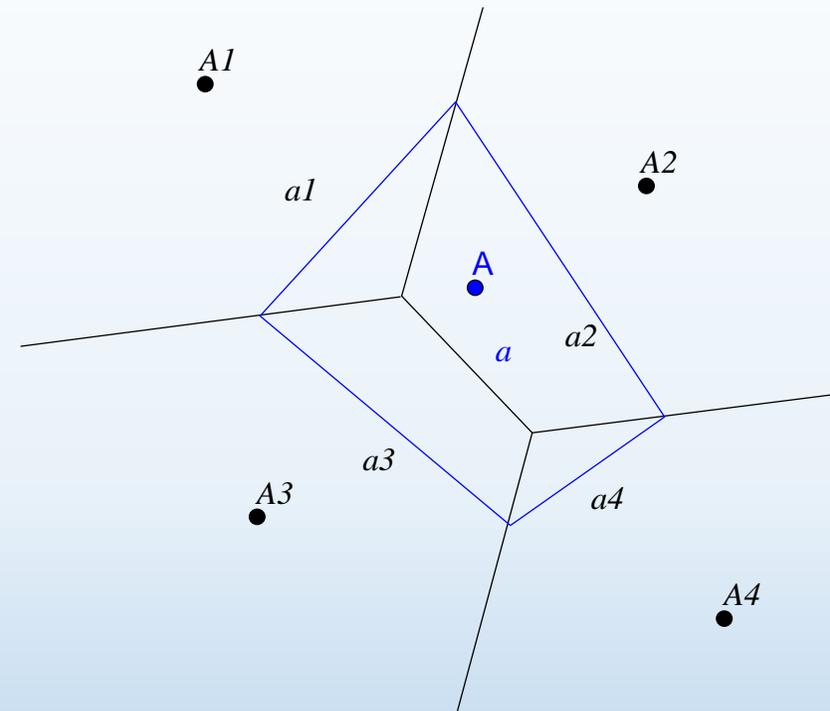
$$p_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^J S_j}$$

Метод естественной окрестности – метод интерполяции, при котором весовые коэффициенты берутся пропорциональными площадям пересечений ячеек Вороного узла и искомой точки

+Быстродействие

-Сложный алгоритм

-Невысокая точность



Метод интерполяции кригинг

Кригинг – метод интерполяции, в основе которого лежит представление неизвестной функции в виде случайного процесса и отыскание интерполянта в виде линейной комбинации с условием минимизации дисперсии

- +Высокая точность
- +Учёт модели данных
- Низкое быстродействие

$$v_{ij} = \sqrt{(\Phi_i - \Phi_j)^2 + SF^2 (\Theta_i - \Theta_j)^2}$$

$$v_k = \sqrt{(\varphi - \Phi_k)^2 + SF^2 (\theta - \Theta_k)^2}$$

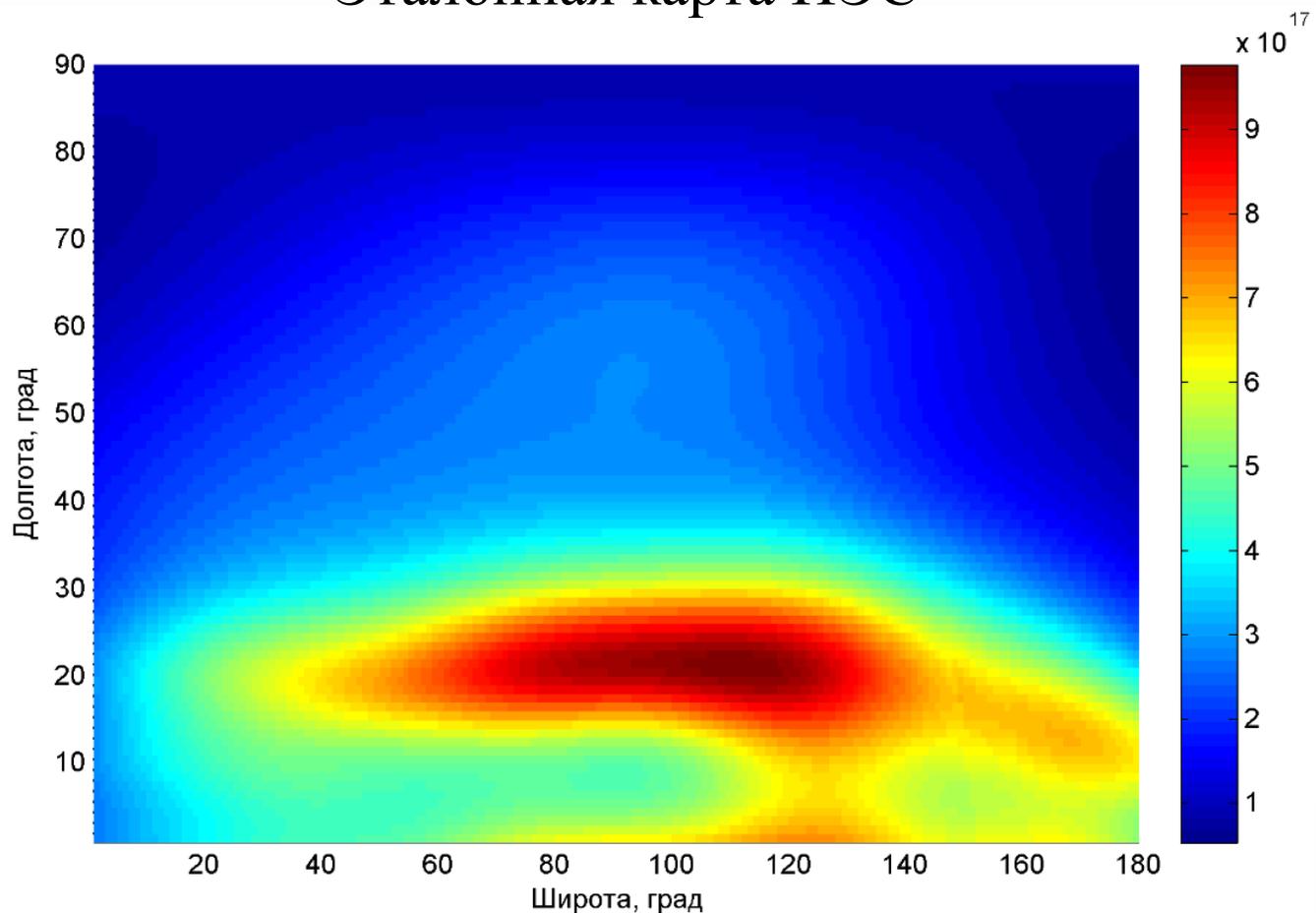
$$\mu = \frac{\sum_{k=1}^q \sum_{c=1}^q v'_{kc} v_k}{\sum_{k=1}^q \sum_{k=1}^q v'_{kc}}$$

$$W_k = \sum_{c=1}^q v'_{kc} (v_c - \mu)$$

$$ПЭС = \sum_{k=1}^q W_k ПЭС_k$$

Методика измерения

Эталонная карта ПЭС



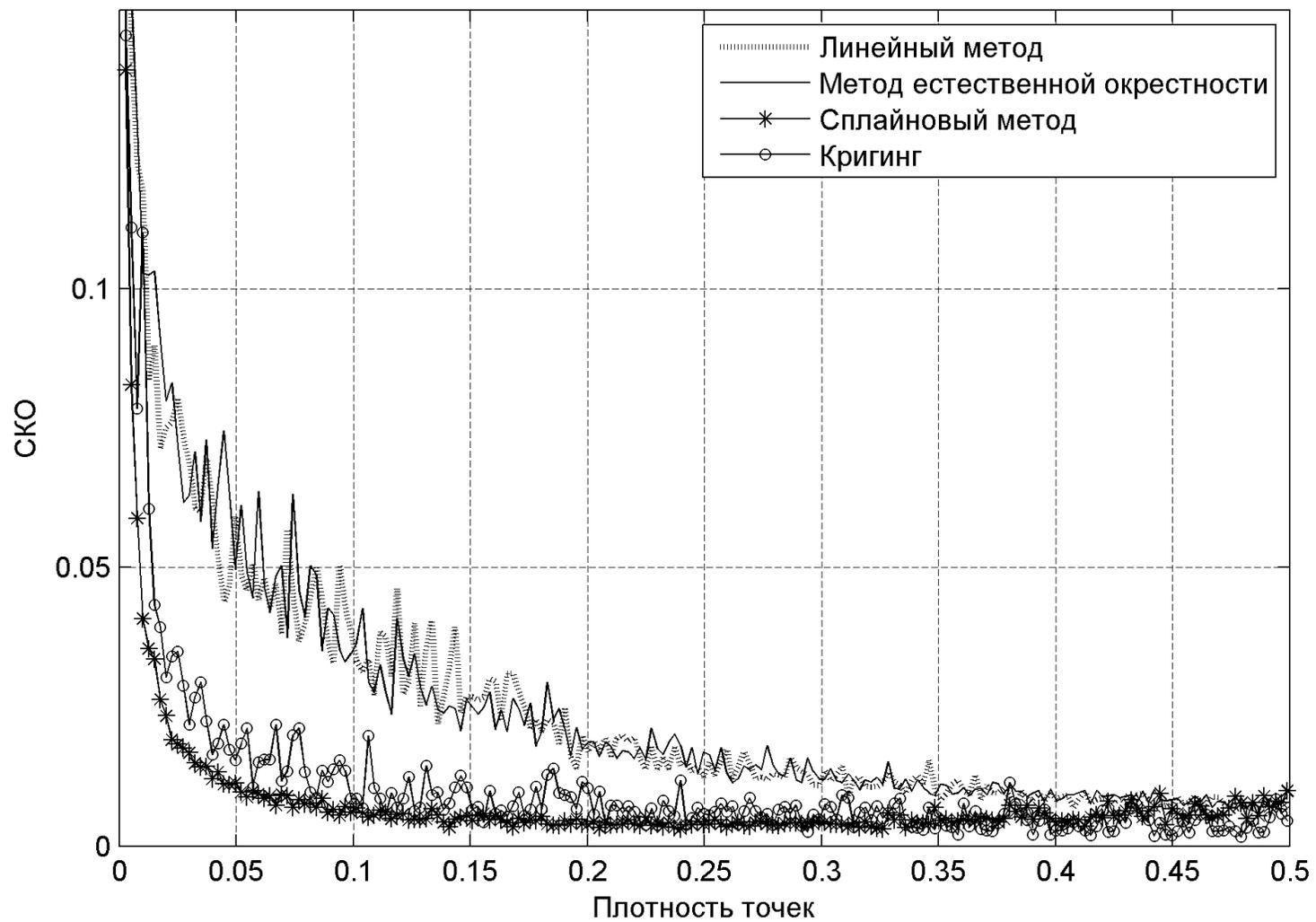
Оцениваемые параметры:

- Относительное среднеквадратическое отклонение
- Время расчёта

Параметр аргумента:

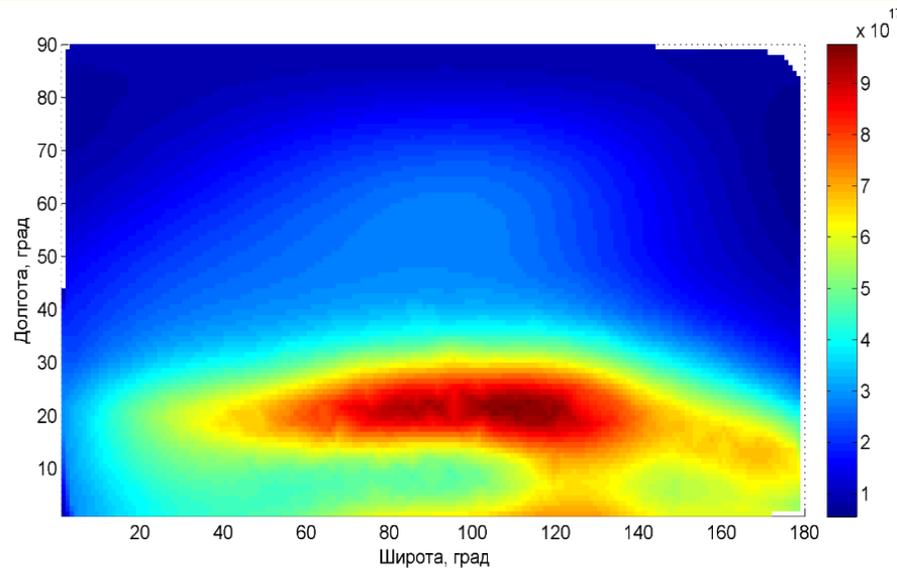
плотность точек – отношение количества узлов к общему количеству точек интерполяции

Зависимость СКО от плотности точек

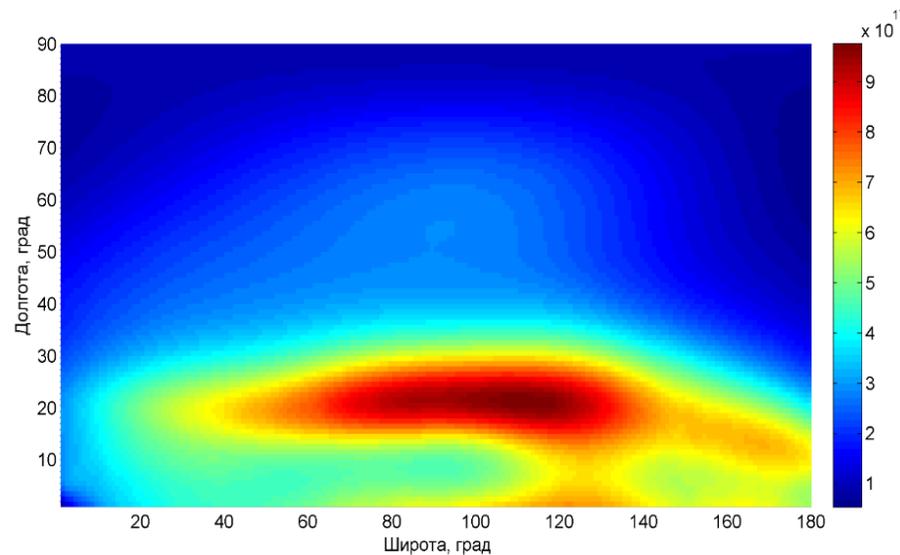


Результаты интерполяции при плотности точек 0.1

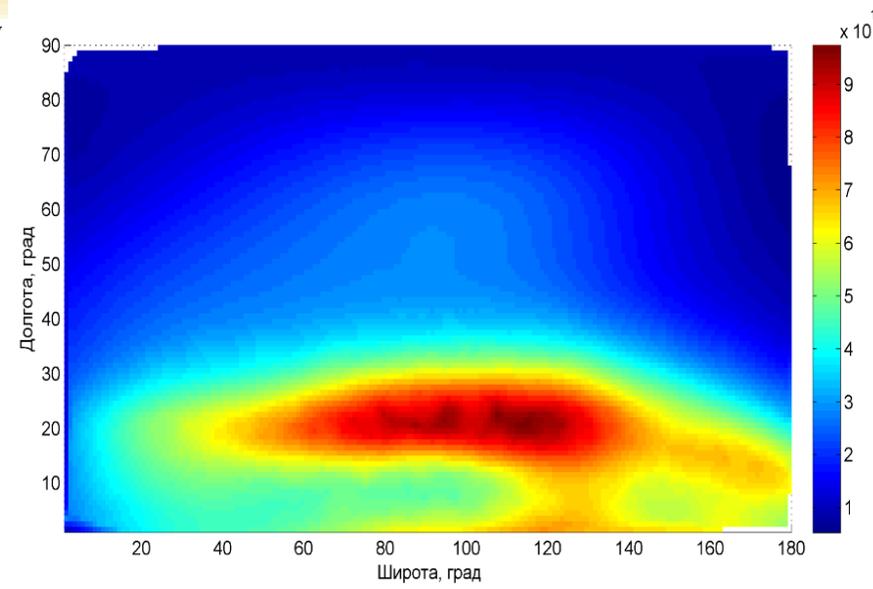
Линейный
метод



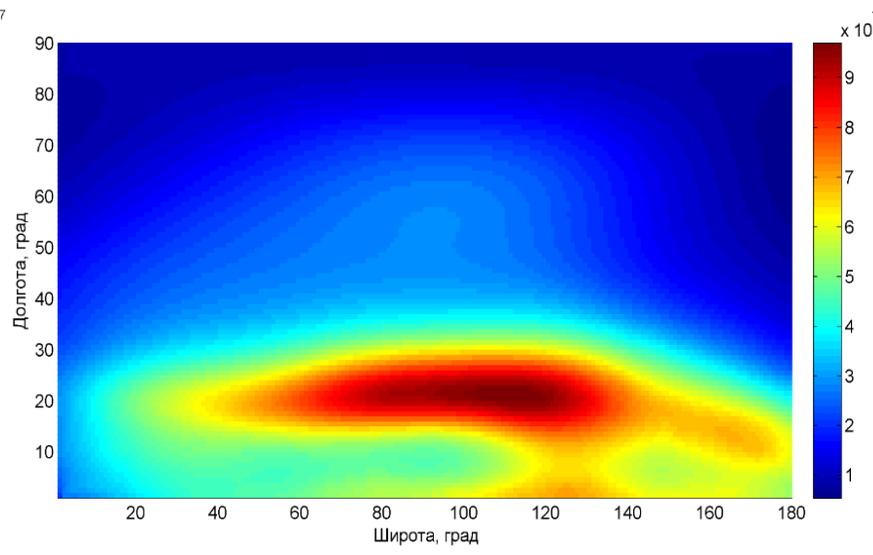
Сплайновый
метод



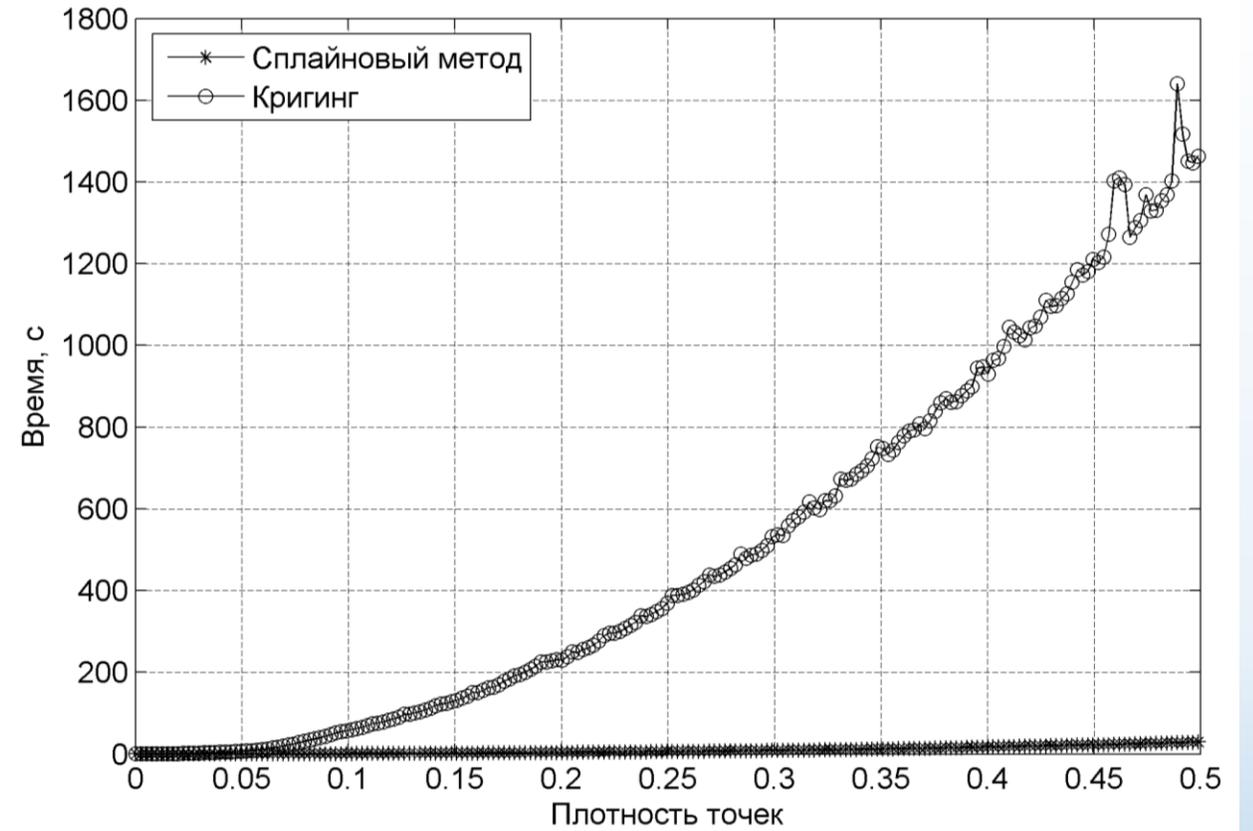
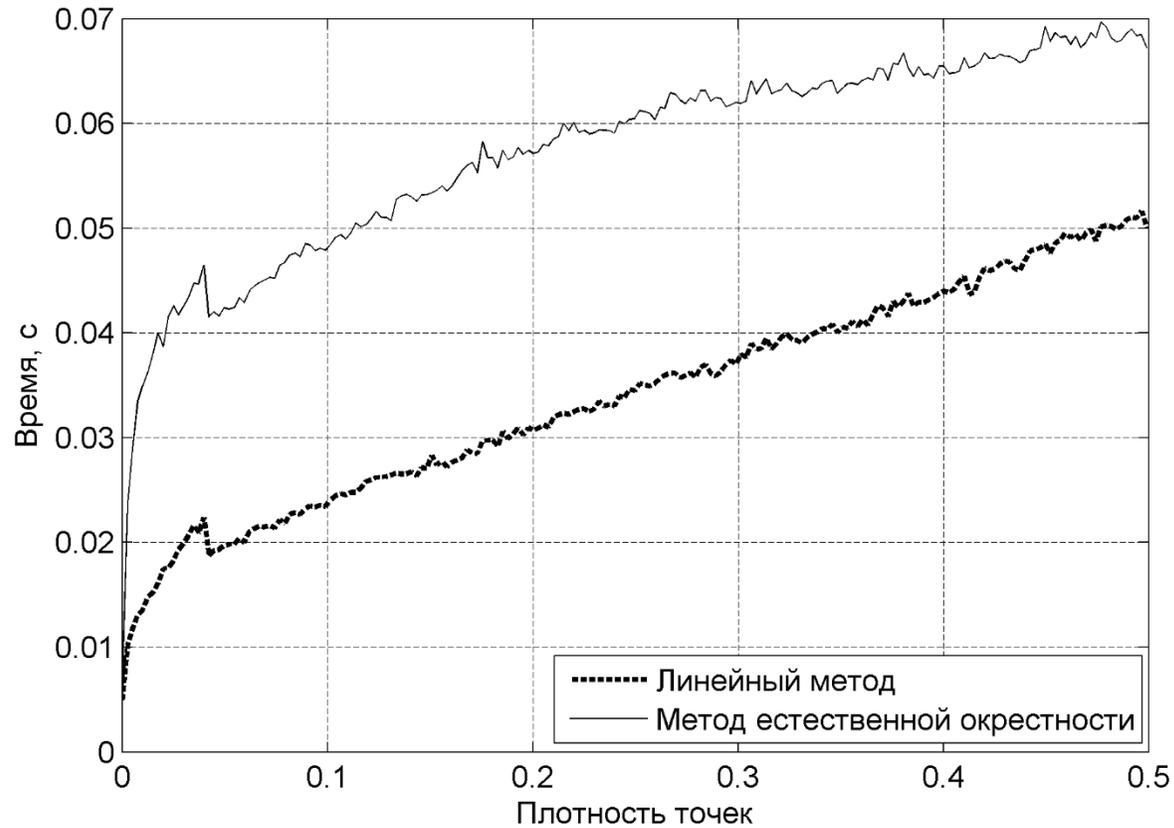
Метод
естественного
соседа



Кригинг



Зависимость быстродействия от плотности точек



Выводы

1. В случае малого числа узлов, особенно характерном при построении карты по экспериментальным данным, наиболее эффективен кригинг, дающий наименьшее СКО, но имеющий низкое быстродействие, сильно зависящее от количества узлов.

2. В случае большого количества узлов, характерном при построении карты на основе модели ионосферы, при параметре плотности точек около 0,5 и выше, целесообразно применять методы с малым временем выполнения, такие как линейный метод, метод обратно взвешенных расстояний, метод естественного соседа.

3. В промежуточном случае может быть использован самый сбалансированный по критериям скорость/точность сплайновый метод.

Литература

1. Перевалова Н. П. Исследование ионосферных возмущений методом трансionoсферного GPS-зондирования. – Иркутск, 2014.
2. Kersley L. / Total electron content – A key parameter in propagation: measurement and use in ionospheric imaging / D. Malan, S. E. Pryse, L. R. Cander, R. A. Bamford, A. Belehaki, R. Leitingner, S. M. Radicella, C. N. Mitchell, P. S.J. Spencer // Annals Of Geophysics – 2004 – С. 1067-1091.
3. Durgonics T. / Detection of ionospheric signatures from GPS-derived total electron content maps / T. Durgonics, G. Prates, M. Berrocoso // Journal of Geodetic Science Research Article – 2014 – С. 98-108.
4. Mukhtarov P. / Global TEC maps based on GNSS data: 1. Empirical background TEC model / P. Mukhtarov, D. Pancheva, B. Andonov, L. Pashova // Journal Of Geophysical Research: Space Physics – Vol. 118 – 2013.
5. Wielgosz P. / Regional Ionosphere Mapping with Kriging and Multiquadric Methods / P. Wielgosz, D. Grejner-Brzezinska, I. Kashani // Journal of Global Positioning Systems – 2003 – Vol. 2, No. 1 – С. 48-55.
6. Orus R. / Improvement of global ionospheric VTEC maps by using kriging interpolation Technique / R. Orus, M. Hernandez-Pajares, J.M. Juan, J. Sanz // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics – 2005 – С. 1-12.
7. Deviren M. N. / Automatic Regional Mapping Of Total Electron Content Using A Gps Sensor Network And Isotropic Universal Kriging / M. N. Deviren, F. Arikan, O. Arikan // 16-th international conference on Information, Fusion – 2013 – С. 1664-1669
8. Foster M. P. / An Evaluation of Interpolation Techniques for Reconstructing Ionospheric TEC Maps / M. P. Foster, A. N. Evans // Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 46, No. 7 – 2008 – С. 2153-2164.

Литература

9. Ricardo N. / Mitigation of Ionospheric Threats to GNSS: an Appraisal of the Scientific and Technological Outputs of the TRANSMIT Project / F. Dowis, G. de Franceschi, M. Aquino – Torino: Workshop Appraisal of Scientific and Technological output – 2014 – 233 с.
10. Ашкеназы В. О. / Сплайн-поверхности: Основы теории и вычислительные алгоритмы: Учебное пособие. – Тверь: Тверской гос. ун-т, 2003. - 82 с.
11. Барабашов Б. Г. / Ионосферное обеспечение однопозиционных пеленгаторов-дальномеров диапазона декаметровых волн / Б. Г. Барабашов, О. А. Мальцева // Труды научно-исследовательского института радио – 2003 – С. 120-126.
12. Li M. / A Kriging Metamodel Assisted Multi-Objective Genetic Algorithm for Design Optimization / M. Li, G. Li, S. Azarm // Journal of Mechanical Design Vol. 130 – 2008 – С.1-10.
13. Orus R. / Testing regional vertical total electron content maps over Europe during the 17–21 January 2005 sudden space weather event / R. Orus, L. R. Cander, M. Hernandez-Pajares // Radio Science, Vol. 42 – 2007 – С. 1-12.
14. Joseph V. R. / Blind Kriging: A New Method for Developing Metamodels / V. R. Joseph, Y. Hung., A. Sujianto // ASUME Journal of Mechanical Design – vol 130(3) – 2003 – С.1-8.
15. Айзель Г.В. / Расчеты речного стока на основе модели SWAP для водосборов с недостаточным информационным обеспечением // дис. канд. тех. наук – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук – 2014 – 155 с.

Спасибо за внимание!